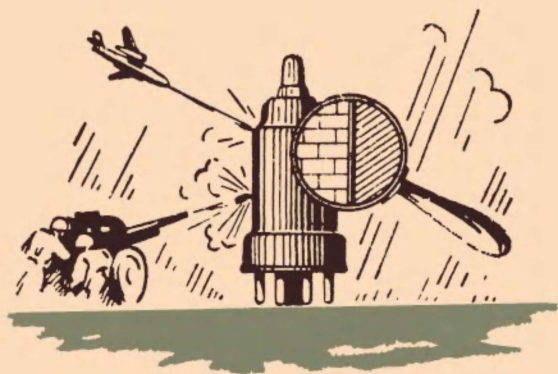


МАССОВАЯ  
РАДИО  
БИБЛИОТЕКА

Л. В. КУБАРКИН, Е. А. ЛЕВИТИН

# Занимательная РАДИОТЕХНИКА



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

1 9 5 6

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

---

*Выпуск 249*

Л. В. КУБАРКИН и Е. А. ЛЕВИТИН

# ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ РАДИОТЕХНИКА



Scan AAW



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МОСКВА 1 9 5 6 ЛЕНИНГРАД

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**А. И. Берг, И. С. Джигит, А. А. Куликовский, А. Д. Смирнов,  
Ф. И. Тарасов, Б. Ф. Трамм, П. О. Чечик и В. И. Шамшур**

«Занимательная радиотехника» не преследует цели систематического изложения курса радиотехники. Она представляет собой сборник примеров, в занимательной форме иллюстрирующих и поясняющих различные разделы этой отрасли техники и связанные с ней области электротехники и физики. Приводимые в книге материалы подобраны с целью помочь читателю лучше понять и усвоить наиболее существенные вопросы радиотехники.

Книга рассчитана на радиолюбителей и вообще читателей, интересующихся техникой и физикой, обладающих знаниями в объеме средней школы.

## Авторы

*Кубаркин Леонтий Владимирович и Левитин Ефим Алексеевич*

## ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ РАДИОТЕХНИКА

Рисунки художников: *Громова Г. П., Кузнецова А. П., Павлимова К. А.,  
Симоненко М. Ф., Стрельникова В. П.*

Редактор **А. А. Куликовский**

Технич. редактор **К. П. Воронин**

Сдано в набор 18/II 1956 г.

Подписано к печати 11/VI 1956 г.

Бумага 84×108<sup>1</sup>/<sub>2</sub>

13,53 п. л.

Уч.-изд. л. 14,5.

T-05759.

Тираж 50 000 экз.

Цена 6 р. 80 к.

Заказ № 382.

Набрано в типографии Картонажной фабрики, отпечатано в типографии  
Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10. Заказ 1428.

## ОТ АВТОРОВ

«Занимательная радиотехника» не преследует цели систематического изложения основ радиотехники и не призвана подменить собой учебники. Она, подобно другим книгам этого жанра, введенного в литературу Я. И. Перельманом, ставит своей основной задачей пробудить у читателя вкус к изучению науки и техники, способствовать развитию у него технического и научного мышления, привить ему навыки уяснения физической сущности явлений.

Для достижения этой цели в «Занимательной радиотехнике» рассматриваются отдельные узловые вопросы радиотехники и связанных с ней областей электротехники и физики, а их сущность, значение и смысл раскрываются на примерах, по возможности тесно связанных с жизнью и поэтому легче усваиваемых и запоминающихся.

Для лучшего раскрытия физической сути этих вопросов и придания изложению большей занимательности они зачастую рассматриваются под не совсем обычным, не стандартным углом зрения. Это облегчает понимание явлений, способствует укреплению и расширению имеющихся у читателя знаний о взаимосвязи различных областей науки и техники, что является одной из обязательных основ политехнического обучения.

Для придания книге занимательности в число рассматриваемых вопросов включено много таких, которые издавна привлекали к себе внимание радиолюбителей, но тем не менее не всегда получали достаточно всестороннее освещение в печати.



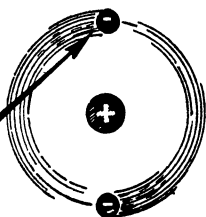
В текст книги введены многочисленные примеры как из области радиотехники, так и из других областей знания (а нередко и из быта), причем примеры эти подобраны так, что связанные с ними подсчеты и числовые сопоставления дают интересные и подчас неожиданные результаты.

Основным затруднением, с которым авторы постоянно сталкивались и которое им не удалось сколько-нибудь полно преодолеть, является известный разноречивостью в степени трудности рассматриваемых вопросов. Но все же, как правило, подбор материала производился с ориентировкой на среднего радиолюбителя, интересующегося физическими основами радиотехники. Известная часть материала, возможно, будет интересна не только радиолюбителям, но и студентам радиотехнических вузов и техникумов, а также и радистам-профессионалам.

Авторы будут признательны читателям за все отзывы о книге, подборе материала, форме изложения и пр. Отзывы следует направлять в адрес издательства: Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10, Госэнергоиздат.

*Авторы*

# Как велик ЭЛЕКТРОН



Радиотехническую аппаратуру и радиотехнические приборы часто называют электронными. Постоянно приходится слышать и читать слова: электронная аппаратура, электронное реле, электронная лампа, электронное телевидение и т. п.

Почему же все, относящееся именно к радиотехнике, так часто сочетают со словом «электронный»?

Конечно, то обстоятельство, что электроны являются важнейшей составной частью всего материального мира, не может играть здесь роли. Если бы название «электронный» присваивалось по признаку материального состава, то без этого прилагательного оказались бы только слова, обозначающие отвлеченные понятия.

Очевидно, не может иметь значения и то, что радиотехническая аппаратура является электрической аппаратурой, а электрический ток представляет собой поток электронов. Никому не придет в голову назвать электрический звонок или электрический утюг электронными, хотя не подлежит сомнению, что их работа основана на электронных процессах.

Термин «электронный» в современной науке и технике применяют по отношению к тем приборам, в процессе работы которых используются свободные электроны, не связанные с атомами и движущиеся преимущественно в вакууме или газах. Работа многих радиотехнических приборов и устройств основана на использовании таких свободных электронов, поэтому для радистов и, следовательно, радиолюбителей важно знакомство с электронами и их природой.

Что же представляет собой электрон?

Все имеющиеся в природе вещества — твердые, жидкие и газообразные — состоят из мельчайших, но все же довольно сложных образований — молекул. Количество молекул даже в ничтожных по размеру крупицах веще-

ства, столь велико, что цифры, выражающие это количество, уже ничего нам не говорят. Только путем сравнения можно составить известное представление о масштабах этих величин.

Возьмем каплю воды. Капля — это самая малая мера жидкости, которой мы пользуемся в обиходе. Но в капле воды заключено огромное количество молекул. Чтобы как-то представить себе его, придется перейти от капли к целому морю.

На юге нашей Родины раскинулось прекрасное Черное море. Оно омывает берега четырех государств, громадные пароходы скользят по нему, бескрайны его просторы. Его поверхность равна примерно  $400\,000\text{ км}^2$ , т. е. почти полумиллиону квадратных километров, а глубина в среднем не менее  $750\text{ м}$ .

Много ли капель в Черном море? Конечно, такой неожиданный вопрос поставит каждого из нас в тупик. Не скоро сообразишь, сколько капель, скажем, в стакане воды, а тут огромное море. Однако карандаш и бумага помогут нам быстро найти нужную цифру. Если мы примем, что объем капли воды равен  $15\text{ мм}^3$ , то получим, что в Черном море содержится около  $2 \cdot 10^{22}$  капель.

Нам не столь важна эта цифра сама по себе, сколько сопоставление капли воды с Черным морем, потому что в одной капле воды примерно столько же молекул, сколько капель в Черном море.

Этот пример может быть по-может хотя и с трудом, но все же представить себе сколь мала молекула. Но ведь молекулу можно делить. Она состоит из еще более мелких частиц — атомов.

Вот булавочная головка. Мы часто пользуемся ею для сравнения, когда хотим подчеркнуть малые размеры чего-нибудь. Однако в булавочной головке содержится  $10^{19}$  атомов железа.

С чем можно сравнить это число? От Земли до Солнца  $150\text{ млн. км}$ . Переведем километры в миллиметры — получим  $1,5 \cdot 10^{14}\text{ мм}$ . Это число грандиозно, но в булавочной головке столько атомов, что на каждом миллиметре расстояния между Землей и Солнцем можно поместить



по ... полмиллиона атомов железа. Если бы мы захотели поместить их по одному на каждом миллиметре, то такая цепочка атомов растянулась бы на  $10^{13}$  км. Такой путь



свет проделывает в течение года.

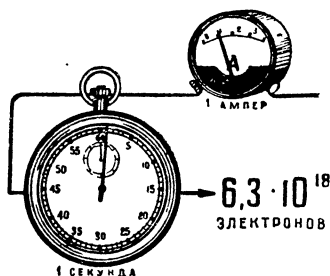
Атом железа содержит 26 электронов, поэтому электронов в булавочной головке в 26 раз больше, чем атомов. Цепочка такого количества электронов, расположенных с интервалом 1 мм, протянется от Земли в безбрежные дали космического пространства на такое расстояние, какое свет пролетает за 26 лет. Такое расстояние велико даже в космических масштабах. Ведь Землю от ближайшей звезды отделяют «всего» 4 световых года. 26 световых лет — это расстояние, на котором находится от Земли яркая и красивая звезда Вега из созвездия Лиры.

Вот в какую даль завела нас булавочная головка.

Что же представляет собой электрон и какие цифры характеризуют его физические свойства?

Электрон содержит наименьшее количество электричества. Мы считаем его наименьшим возможным количеством потому, что до сих пор ни разу не приходилось наблюдать меньшего заряда, хотя современная техника эксперимента имеет принципиальную возможность обнаруживать и измерять во много раз меньшие заряды. По новейшим данным заряд электрона равен  $4,8 \cdot 10^{-10}$  абсолютных электростатических единиц, или  $1,6 \cdot 10^{-19}$  кулона. Эта величина представляет для электриков и радистов большой интерес, так как им постоянно приходится иметь дело с электрическими зарядами и электрическим током. Током в один ампер является такой ток, при котором в

одну секунду через поперечное сечение проводника протекает один кулон электричества. Легко вычислить, что один кулон равен заряду  $6,3 \cdot 10^{18}$  электронов. Столько электронов протекает в секунду через поперечное сечение проводника при токе в один ампер.



Число это огромно. Если зарядить какое-нибудь тело отрицательным зарядом, равным одному кулону, а потом начать снимать с него электроны по 1 млн. в секунду, то снимать их придется... двести тысяч лет.

Сколько же весит это колоссальное количество электронов?

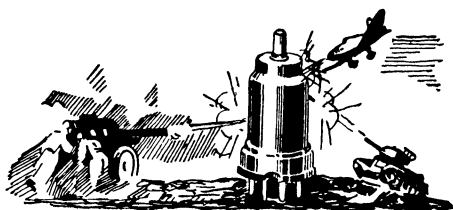
Остроумные и изумительные по своей тонкости эксперименты позволили физикам не только измерить заряд электрона, но и определить его массу. Она оказалась равной  $9,1 \cdot 10^{-28}$  г. Эта масса столь мала, что в большинстве случаев ее можно не принимать во внимание и считать электрон лишенным массы. Но все же она не равна нулю, и, помножив число электронов в кулоне на только что приведенную цифру, мы получим, что один кулон «весит»  $5,7 \cdot 10^{-9}$  г, или 0,0057 микрограмма.

Это ничтожнейшая величина. Кулон нельзя «взвесить» даже на лучших микроаналитических весах, чувствительность которых равна миллионным долям грамма. Кулон «весит» в тысячу раз меньше.



Огромное количество атомов, содержащихся даже в самом незначительном объеме любого вещества, заставляет предположить, что элементарные частицы, из которых оно состоит, плотно спрессованы.

Можно привести много примеров, которые наводят нас на эту мысль. Вот перед нами радиолампа. Из ее стеклянного или металлического баллона со всей тщательностью



выкачан воздух. Несметные полчища молекул воздуха яростно бьются снаружи о стенки баллона, стремясь прорваться внутрь. Каждый квадратный сантиметр поверхности баллона при комнатной температуре испытывает в секунду  $10^{22}$  ударов от окружающих лампы молекул воздуха, несущихся со скоростью 1 500 км в час. Однако тонкие стенки баллона успешно противостоят этому сверхуреганному обстрелу. Ни малейшей щелки не могут найти в них молекулы воздуха.

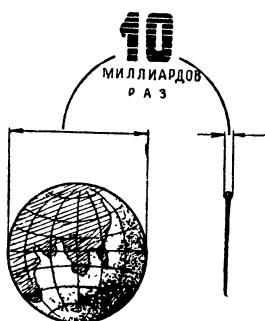
Это невольно заставляет думать, что элементарные частицы, из которых состоит вещество, сложены так же плотно, как, скажем, кирпичи в стене.

Посмотрим, как обстоит дело в действительности. Для этого обратимся снова к булавочной головке и прежде всего заметим некоторые нужные нам цифры: поперечник электрона прием равным  $10^{-5}$  ангстремам (1 ангстрем  $= 10^{-7}$  мм), поперечник атомного ядра в среднем составляет  $10^{-4}$  ангстрема, а поперечник атома — около 1—2 ангстремов. Поперечник булавочной головки прием равным 1,3 мм, т. е.  $1,3 \cdot 10^7$  ангстрема, а число атомов в ней, как уже указывалось,  $10^{19}$ .

Увеличим булавочную головку до размеров земного шара. Диаметр земного шара равен в круглых цифрах 13 000 км, т. е.  $13 \cdot 10^9$  мм. Значит, булавочную головку, имеющую в поперечнике 1,3 мм, надо увеличить в десять миллиардов ( $10^{10}$ ) раз, чтобы она сравнялась по величине с земным шаром.

Какой же величины достигнет при таком увеличении атом? Поперечник атома примерно равен 1 ангстрему, т. е.  $10^{-10}$  мм. При увеличении в десять миллиардов раз

его поперечник станет равным одному метру. В результате такого увеличения мы получим метровую модель атома, размер которой нам представить себе нетрудно — это шар окружностью примерно в два обхвата.



Сколь же велики при подобном увеличении будут атомные ядра и электроны?

Поперечник атомного ядра равен примерно  $10^{-1}$  ангстрема, или  $10^{-11}$  мм. При увеличении в  $10^{10}$  раз ядро атома достигнет величины 0,1 мм. Точка, стоящая в конце этой фразы, имеет в диаметре около 0,5 мм; значит, диаметр атомного ядра будет в 5 раз меньше. Это — толщина волоса.

Удастся ли увидеть ядро в такой метровой модели атома? При хорошем боковом освещении и на соответствующем фоне люди с хорошим зрением смогут различить его. Ведь мы различаем в солнечном луче мельчайшие пылинки, невидимые в обычных условиях.

А каким же станет диаметр электрона? Он будет еще в 10 раз меньше. Толщина паутинной нити может дать представление о поперечнике электрона при увеличении в десять миллиардов раз. Такую «модель» электрона можно увидеть только в лупу.

К чему же мы пришли? В объеме, имеющем форму шара с поперечником 1 м, находится едва заметная пылинка, занимающая положение в центре. Вокруг нее на различных расстояниях по определенным поверхностям, как бы по невидимым оболочкам, кружатся 26 электронов, различимых только в лупу. Атом по существу пуст. Вещество в виде ядра и электронов занимает в нем только  $\frac{1}{1\,000\,000\,000\,000\,000}$  его объема. Для сравнения

можно привести нашу солнечную систему. Она фактически имеет блинообразную форму, но приближенно мы можем представить себе ее в виде шара с поперечником, равным удвоенному расстоянию от Солнца до отдаленнейшей планеты — Плутона, т. е. шара с поперечником двенадцать миллиардов километров. В этом огромном объеме Солнце, Земля и все другие планеты с их спутни-

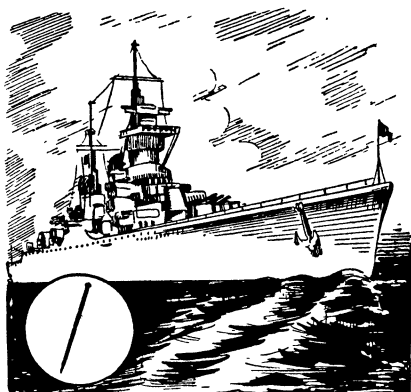
ками занимают ничтожное место, но все же отношение части этого объема, занятой веществом, к его пустой части будет в 200 раз больше, чем у атома.

Атом почти совершенно пуст. А так как основной структуры всякого вещества является именно атом, то можно без преувеличения сказать, что все тела состоят главным образом из пустоты. Вещество разбросано в этой пустоте микроскопически-малыми количествами<sup>1</sup>.

Атомы в веществе тоже не прилегают вплотную друг к другу, поэтому доля пустого пространства в любом объеме любого вещества еще больше, нежели внутри его атомов. Если бы вещество удалось спрессовать так, чтобы ядра его атомов сошлись вплотную, то все предметы невероятно уменьшились бы в размерах, сохраняя в то же время свой вес. Кубический метр вещества, спрессованного до такой степени, превратился бы в невидимую пылинку, объемом в миллионные доли кубического миллиметра. Продолжая сравнение с булавочной головкой, можно подсчитать, что если весь материал, из которого построен огромный современный линкор водоизмещением 45 000 тонн, сжать так, чтобы ядра его атомов сошлись вплотную, то все его вещество займет объем булавочной головки. Но эта булавочная головка у нас на земле будет весить сорок пять тысяч тонн.

Но если вещество по существу представляет собой пустоту, то почему же оно непроницаемо? Почему же молекулы воздуха, бомбардирующие снаружи баллон электрической лампы, не могут проникнуть внутрь?

Самый тонкий слой вещества состоит из столь большого числа атомов, что «посторонние» молекулы не смогут



<sup>1</sup> Следует учесть, что термин «пустота» является условным. Под словом «пустота» надо понимать физическую среду, обладающую способностью переносить энергию.



пролететь сквозь него, не претерпев многократных столкновений с атомами и не израсходовав в результате этих столкновений всю свою энергию. Пленка металла толщиной 100 атомов уже непроницаема для газа, а стенка металлического баллона лампы имеет толщину около 0,5 мм, что соответствует примерно  $5 \cdot 10^{10}$  атомам. Дело в том, что для того чтобы претерпеть «столкновение» с атомом, вовсе не нужно «стукнуться» об его ядро. В пространстве, занимаемом атомом, действуют исключительно мощные силы, поэтому для элементарных частиц приближение друг к другу на расстояния, соизмеримые с размерами атома, уже по сути дела представляет собой столкновение со всеми его последствиями.

По мере уменьшения расстояния между ядрами, имеющими одноименные заряды, силы отталкивания между ними увеличиваются. Еще до полного сближения частиц силы отталкивания возрастают настолько, что приближающаяся частица отбрасывается назад или же путь ее движения искривляется.



Числа, связанные с электронами, бывают то фантастически малы, то невероятно велики. Они настолько отличны от всех привычных нам масштабов, что мы не воспринимаем их.

Что нам говорит, например, величина массы электрона —  $9 \cdot 10^{-28}$  г? Мы не постигаем всю неизмеримую малость этого числа. Чтобы облегчить себе понимание этого, попробуем подсчитать, сколько надо взять электронов, чтобы их общая масса составила 1 г. Это сделать просто. Для этого надо взять

$$\frac{1}{9 \cdot 10^{-28}} \approx 10^{27} \text{ электронов}$$

Сравним это громадное число с другим, тоже чрезвычайно большим — с числом электронов, образующих ток 1 ампер. Мы знаем, что при токе 1 ампер через поперечное сечение проводника в 1 секунду проходит 1 кулон электричества, или  $6,3 \cdot 10^{18}$  электронов.

На сколько первое число ( $10^{27}$ ) превосходит второе ( $6,3 \cdot 10^{18}$ )? Надолго ли хватит одного грамма электронов, чтобы поддерживать в цепи ток, например 0,5 ампера, нужный для работы приемника «Родина»? Вообразим, что нам удалось раздобыть бутылочку с одним граммом электронов и что эта бутылочка снабжена краном, позволяющим выпускать из нее электроны такой струйкой, какая нам захочется. Сколько же времени сможет наша чудесная бутылочка питать приемник «Родина»?

Найдем сначала, сколько секунд 1 г электронов сможет поддерживать ток в 1 ампер. Для этого число электронов в грамме разделим на число электронов в кулоне:

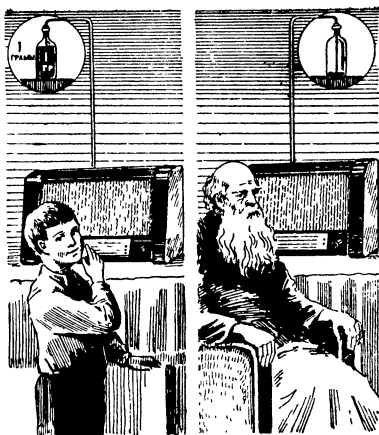
$$\frac{10^{27}}{6,3 \cdot 10^{18}} \approx 1,6 \cdot 10^8 \text{ секунд} \approx 44\,000 \text{ часов} \approx 1\,800 \text{ суток.}$$

Приемник «Родина» потребляет полампера, следовательно 1 г электронов сможет питать его в течение

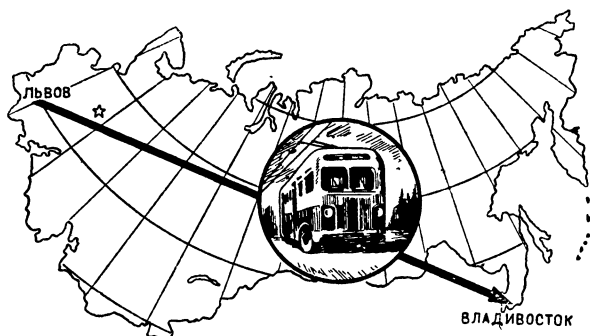
$$1\,800 \cdot 2 = 3\,600 \text{ суток} \approx 10 \text{ лет.}$$

Один грамм электронов обеспечит 10 лет непрерывной работы приемника «Родина»! Таков неожиданный результат нашего подсчета.

Но ведь никто не пользуется приемником непрерывно. Обычно его включают часа на 4 в день. При таком режиме работы запаса питания в чудесной бутылочке с 1 г электронов хватит на 60 лет. Можно с полным правом сказать, что столь удачная покупка обеспечит питание приемника на всю жизнь.



Произведем для полноты картины еще один подсчет. сколько времени 1 г электронов сможет питать троллейбус? Ток, потребляемый троллейбусом, составляет около 130 ампер. Один грамм электронов обеспечит  $\frac{1800}{130} = 14$  суток непрерывного движения троллейбуса.



Цифра тоже неожиданно большая, особенно в сопоставлении с длиной пробега троллейбуса. Делая по 40 км в час, троллейбус за 14 суток покрыл бы расстояние примерно 13 500 км, т. е. проехал бы с запада на восток всю нашу огромную страну. Две недели мчался бы без остановки троллейбус через леса, поля, горы, тайгу, мимо городов, заводов, деревень. Двадцать восемь раз день сменился бы ночью и ночь снова сменилась бы днем, пока, наконец, троллейбус не достиг бы берегов Тихого Океана. И за все это время, за весь этот огромный путь через его мотор прошел бы только один грамм электронов.

Вот как велик один грамм электронов!



Электрический ток распространяется по проводам с баснословной скоростью, практически равной скорости света. Триста тысяч километров в секунду пробегает по проводам электрический сигнал.

Электрический ток в проводах представляет собой движение электронов. Значит ли это, что электроны движутся в проводах со скоростью света?

Нет, не значит. При замыкании цепи вдоль проводов распространяется электрическое поле, причем это распространение происходит со скоростью света. Если замкнуть электрическую цепь огромной длины, то через одну секунду электроны действительно начнут двигаться на расстоянии 300 000 км от места замыкания. Однако там будут двигаться не те электроны, которые начали двигаться в момент замыкания у места замыкания. Это будут другие, так сказать, «местные» электроны. Распространяющееся со скоростью света поле приводит в движение электроны в тех участках провода, которых оно достигло.

А сами электроны? Они движутся крайне медленно. Кроме того, характер их движения таков, что скорость их весьма неопределенна.

В образовании электрического тока участвуют свободные электроны, содержащиеся в металле в огромном количестве (число свободных электронов примерно равно числу атомов). Однако эти электроны движутся не только в результате воздействия электрического поля и при отсутствии поля они не остаются неподвижными. Они находятся в постоянном хаотическом тепловом движении. Это движение электронов в металле чрезвычайно затруднено. Электроны испытывают непрерывные столкновения как с другими электронами, так и с атомами и в результате этих столкновений изменяют направление своего движения, уменьшают скорость и зачастую отскакивают в обратном направлении.

Практически тепловая скорость движения электронов в проводах составляет всего лишь несколько десятков километров в секунду. Почти никакого электрического действия это тепловое движение электронов не производит, хотя всякое движение электронов представляет собой электрический ток. Объясняется это хаотическим характером теплового движения: любому числу электронов, движущихся в каком-нибудь направлении, всегда соответствует такое же количество электронов, движущихся в противоположном направлении.

При воздействии на электроны электрического поля возникает, кроме такого хаотического, еще и упорядо-

ченное движение электронов в одну сторону. Это не означает, что при наличии поля все свободные электроны движутся в одну сторону. Скорость, которую электроны приобретают под действием поля, сравнительно невелика, но она складывается со скоростью теплового движения. Это означает, что электроны, двигавшиеся в направлении действия поля, увеличат свою скорость, а движение электронов в обратном направлении замедлится. В итоге вся масса свободных электронов будет смещаться в направлении действия поля. Это смещение мы и называем электрическим током.

Какова же скорость движения электронов, вызванная действием электрического поля?

В проводах скорость движения электронов под действием поля в промежутках времени между двумя столкновениями может быть сравнительно значительной, достигая нескольких километров в секунду. Но бесчисленные столкновения приводят к тому, что фактическое перемещение электронов в направлении действия поля характеризуется чрезвычайно малой скоростью. Эта скорость в конечном счете определяется напряженностью поля и в среднем при напряженности поля 1 вольт на сантиметр длины провода составляет около десяти сантиметров в секунду.

Но подобная напряженность поля встречается редко. Чтобы создать такое поле в проводе длиной 1 км, надо подвести к нему напряжение 100 000 вольт. Фактически имеющие место напряженности поля бывают значительно меньше, и скорость движения электронов в направлении действия такого поля измеряется небольшим количеством миллиметров или даже долями миллиметра в секунду. Например, при таких напряжениях, какие действуют в осветительной сети, скорость движения электронов составляет 1—3 мм в секунду. В час электроны передвигаются на расстояние всего лишь около 10 м.

Итак, скорость электрического тока — это скорость распространения электрического поля, побуждающего электроны двигаться вдоль провода, а не скорость самих электронов. Если бы ток распространялся со скоростью электронов, то телеграмма, посланная из Москвы во Владивосток, могла бы прийти туда, например, через 100 лет. Ее получили бы правнуки адресата. При такой скорости Москве пришлось бы ждать 10 лет, пока до нее

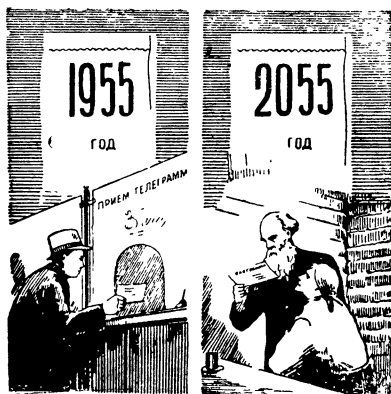
дойдет ток от Куйбышевской ГЭС, и даже лампочку, простую электрическую лампочку, нам пришлось бы включать за полчаса до того, как нам потребуется ее свет, так как при скорости 10 м в час электроны добрались бы от выключателя до лампы не раньше чем через полчаса.

Во всех предыдущих примерах мы счи-

тали, что имеем дело с постоянным током, который характеризуется движением электронов в одну сторону. При переменном токе электроны совершают лишь колебательные движения около среднего положения и вообще не перемещаются на большие расстояния.

Скорость движения электронов в вакууме гораздо больше, чем в проводках. Это вполне естественно, так как, двигаясь в почти полной пустоте, электроны не испытывают столкновений с другими частицами. Поэтому скорость их движения определяется только ускоряющим действием поля и фактически значительно превышает тепловые скорости. В электронных лампах при анодном напряжении 250 вольт электроны пролетают пространство между катодом и анодом со скоростью около 9 000 км в секунду. Еще значительно быстрее мчатся электроны в телевизионных трубках, где они разгоняются напряжением во много тысяч вольт.

Направление теплового движения электронов в проводниках хаотично. В каждый данный момент времени известное количество электронов имеет такое направление движения, которое должно привести к вылету их за пределы проводника. Однако преодоление поверхностного слоя проводника представляет для электронов серьезное затруднение, так как он отталкивает их внутрь проводника (см. стр. 114). Чтобы прорваться наружу, электроны должны приобрести большую скорость. Например, для того чтобы вылететь из вольфрама — металла, из которого делаются нити накала радиоламп, электроны должны приобрести скорость 1 270 км в секунду.



Такую скорость электроны могут приобрести только в результате сильного нагревания проводника. Когда нужная скорость достигнута, начинается вылет электронов из проводника во внешнее пространство — электронная эмиссия. Проводник из вольфрама для получения нормальной электронной эмиссии должен быть нагрет примерно до  $2\,500^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, скорость движения электронов в радиоаппаратуре колеблется в пределах примерно от долей миллиметра до десятков тысяч километров в секунду.



Понятие электрического тока обычно связывается с движением электронов. Мы представляем себе электрический ток как поток бесчисленного количества электронов, несущихся по проводам или через пустоту электронной лампы.

Но электрический ток — это не обязательно поток электронов. Электрический ток есть движение электрических зарядов, а зарядом обладают не только электроны. Да и сам характер движения зарядов может быть различным, в том числе таким, для которого определение «поток» не всегда оказывается подходящим.

Сколько же видов электрического тока можно считать?

В большинстве случаев нам приходится иметь дело с электрическим током в металлических проводниках. Этот ток действительно представляет собой организованное движение электронов, для определения которого подходит слово «поток». Подобный характер имеет и ток в межэлектродном пространстве электронных ламп, который может служить образцовым примером потока свободно несущихся электронов.

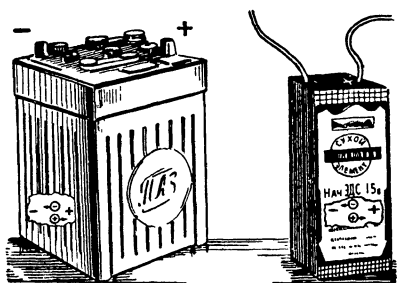
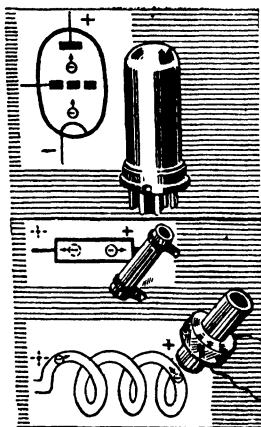
Этот вид электрического тока наиболее известен, и на нем поэтому не стоит подробно останавливаться.

Весьма распространенными носителями электрических зарядов являются ионы. Атомы в своем нормальном состоянии электрически нейтральны: положительный заряд ядра полностью уравнивается отрицательными зарядами электронов в электронных «оболочках» атома. Но атомы могут терять электроны или же захватывать лишние, «сверхкомплектные» электроны. В обоих случаях атом становится ионом.

Атом с недостающими электронами имеет положительный заряд, а с излишними — отрицательный. Упорядоченное движение ионов тоже представляет собой электрический ток.

Но не везде ионы могут передвигаться свободно. В твердых проводниках для этого нет подходящих условий. Даже маленькому электрону трудно пробираться сквозь чашу атомов и молекул твердого вещества, а поперечник иона-атома почти в миллион раз больше. Наоборот, в жидких проводниках электрический ток образуется главным образом движением ионов. Отрицательные ионы движутся к положительному полюсу, положительные — к отрицательному. В электролите аккумуляторов и гальванических элементов течет ионный ток.

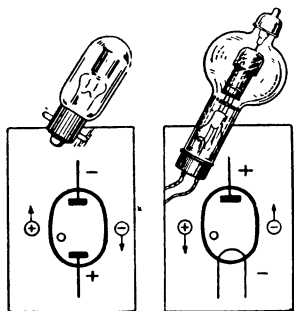
Образующие электрический ток ионы движутся только в жидкости, но «войти» в твердые электроды, посредством которых ток подводится к жидкости, ионы не могут. В электродах движутся только электроны. Поэтому на границе между жидкостью и электродами происходит своего рода преобразование ионного тока в электронный и наоборот. Положительные ионы, притягиваясь к отрицательному электроду, на котором имеются избыточные элект-





троны, заимствуют у него недостающие у них электроны и превращаются в нейтральные атомы. К положительному электроду, обедненному электронами, притягиваются отрицательные ионы и отдают ему свои избыточные электроны, тоже превращаясь в нейтральные атомы.

К этому следует добавить, что ионами, образующими электрический ток в жидкости, могут быть не только атомы с недостающими или избыточными электронами. Ток в жидкости могут образовать не только одиночные ионы, но и более сложные образования, например ионизированные молекулы. Поэтому в зоне соприкосновения жидкости с твердым проводником могут выделяться не только нейтральные атомы, но и молекулы. Такова же природа электрического тока и в газах, где имеют место как ионные, так и электронные процессы. На поверхности электродов газового прибора (неоновых ламп, газотронов и др.) происходит та-



кое же преобразование ионного тока в электронный, как и при переходе тока из жидкости в твердый электрод. В электровакуумных приборах, например электронных лампах, электрический ток образуется электронами, но и здесь могут параллельно существовать и ионные токи. Например, работа электроннолучевых трубок основана на использовании

тонкого пучка электронов, но наряду с потоком электронов в этих трубках существует и поток ионов. Вследствие ионной бомбардировки на экранах телевизоров образуются завоевавшие себе печальную известность ионные «пятна». Теперь для защиты экрана от бомбардировки ионами (отрицательными ионами кислорода) в электроннолучевых трубках делают специальные «ионные ловушки».

Большим своеобразием отличается физическая природа электрического тока в полупроводниках. Она очень сложна и не отличается постоянством; она изменяет свой характер в соответствии со многими причинами — материалом полупроводника, температурой, наличием примесей.

Чистый полупроводник при низкой температуре подобен изолятору. Все его электроны прочно удерживаются в своих атомах. Свободных зарядов нет, полупроводник ведет себя как изолятор. Однако электроны в атомах полупроводника удерживаются не так прочно, как в атомах изолятора. При нагревании, облучении светом электроны получают дополнительную энергию, достаточную для того, чтобы оторваться от атома и получить возможность передвигаться. В результате в полупроводнике появляются свободные заряды, создающие проводимость. Если к полупроводнику приложить напряжение, то в нем начнется движение электронов, возникнет ток. Это будет электронный ток.

Но в полупроводниках возможен не только электронный ток. Атом, потерявший электрон, становится положительным ионом. Положительный ион под воздействием электрического поля притягивает к себе недостающий электрон от соседнего «нормального» атома, превращая его тем самым в положительный ион. Этот вновь образованный ион в свою очередь заимствует недостающий электрон у следующего атома и т. д. Физики называют неподвижный положительный ион с недостатком электрона «дыркой», а ток, который создается в результате кажущегося движения «дырки», — «дырочным».

В итоге получается нечто подобное движению положительного иона, хотя сами ионы при этом сохраняют неподвижность. Это можно наглядно представить себе на примере того вида иллюминации, который известен под названием «бегущего огня». Чтобы создать представление движущегося огня, не обязательно передвигать лампу. Можно установить цепочку ламп и зажигать их по очереди. Этот способ часто используется при устройстве различных электрических реклам.

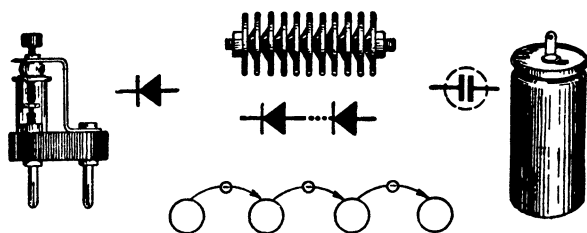
Приведенное здесь и на стр. 233—235 толкование процессов, происходящих в полупроводниках, несколько отличается от распространенных в настоящее время способов объяснения этих процессов. Подобное упрощенное толкование введено для того, чтобы облегчить понимание весьма сложной природы электрического тока в полупроводниках.

В зависимости от характера полупроводника говорят, что он обладает «электронной» или «дырочной» проводимостью. У некоторых полупроводников соответ-

ствующей обработкой можно получить как электронную, так и дырочную проводимость. К таким полупроводникам относится, например, германий. Эта обработка в основном состоит в присадке к полупроводнику соответствующих примесей в нужных количествах.

Четыре рассмотренных вида электрического тока широко используются в радиотехнике. Как видим, электрический ток далеко не всегда образуется электронами и не так уже часто по своему характеру соответствует понятию «поток». С наибольшим правом можно считать электрический ток потоком электронов лишь в электронных лампах.

Но этими четырьмя видами не исчерпываются возможные виды электрического тока. Физики получают, например, достаточно мощные потоки протонов и ядер гелия, имеющих положительный заряд, движение кото-



рых представляет собой электрический ток. Некоторые физические опыты сопровождаются появлением позитронов — положительных электронов, движение которых тоже является электрическим током. Практического использования в радиотехнике эти токи пока не получили, но реальные пути к этому уже намечены, например в виде создания так называемых атомных батарей. Электродвижущая сила у этих батарей создается не в результате химических реакций, как у гальванических элементов или аккумуляторов, а вследствие радиоактивного распада атомов вещества, сопровождаемого излучением заряженных частиц.

В тех атомных батареях, действующие образцы которых уже фактически созданы, используется бета-распад одного из радиоактивных изотопов стронция—стронция-90,



Можно ли ответить на этот вопрос?

В отдаленные времена, когда физики изучали сравнительно очень узкий круг известных им электрических явлений, были введены понятия положительного и отрицательного электричества. Знак плюс присвоили «стеклянному» электричеству — тому электрическому заряду, который возникает на стекле в результате натирания его шелком. Отрицательным электричеством стали считать «сургучное» — заряд, возникающий на сургуче, натертом шерстью. В дальнейшем условились считать, что электрический ток течет от плюса к минусу.

Такая терминология оказалась удобной. Она устраивала и физиков и техников и сохранилась до наших дней. На ее базе сформулированы все основные законы, правила и зависимости учения об электричестве.

Однако несоответствие подобной терминологии физической сущности электрических явлений стало очевидным уже в последние годы прошлого столетия, когда были открыты электроны. Это открытие доказало, что электрический ток имеет «зернистую» структуру и представляет собой поток мельчайших отрицательных зарядов — электронов. Электроны движутся от минуса к плюсу, т. е. в направлении, обратном тому, какое было установлено на заре электротехники.

Это породило двойственность и путаницу. Во многих случаях, когда речь шла о направлении тока, приходилось специально оговаривать, как понимать направление: «по току» или «по электронам». Особенно болезненно эта терминологическая двойственность чувствуется в радиотехнике, где для уяснения работы схем и приборов часто бывает необходимо учитывать именно направление движения электронов. Например, в какую сторону «проводит» электронная лампа? Если считать «по току», то лампа проводит от анода к катоду, а если «по электронам», то от катода к аноду.



Часто высказывается мысль о необходимости устранить двойственность терминологии и установить единообразие в представлении о направлении тока.

Можно ли осуществить подобное единообразие?

Это сделать не так легко, как кажется. Конечно, не трудно изъять из всей выходящей литературы упоминание об электрическом токе в его старом толковании и ввести... А что же ввести? Направление движения электронов? А почему именно электронов? Мы теперь знаем, что электрический ток есть движение электрических зарядов, к которым относятся и электроны, и протоны, и ионы, и позитроны. Электроны и отрицательные ионы движутся от нашего условного минуса к столь же условному плюсу, а положительные ионы, протоны и позитроны движутся в обратном направлении. Можно составить цепь из металлических проводников, гальванических элементов, полупроводниковых выпрямителей и т. п., в отдельных участках которой электрические заряды, образующие электрический ток будут двигаться в противоположных направлениях. Что принять за направление тока в полупроводниковом диоде, в котором электроны движутся в одном направлении, а «дырки» (см. стр. 21)—в обратном? В полупроводниковом триоде получается совсем запутанная картина направлений движения токов и зарядов.

Как видим, вопрос о направлении тока не так-то прост.



Проходит электрический ток через конденсатор или не проходит?

Повседневный радиолобительский опыт убедительно говорит, что постоянный ток не проходит, а переменный

проходит. Это легко подтвердить опытами. Можно зажечь лампочку, присоединив ее к сети переменного тока через конденсатор. Громкоговоритель или телефонные трубки будут продолжать работать, если их присоединить к приемнику не непосредственно, а через конденсатор.

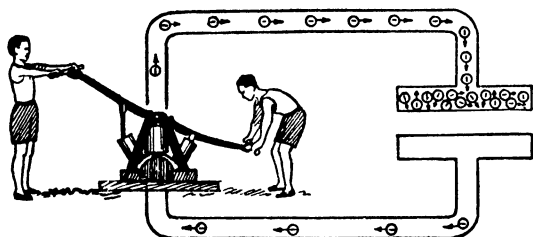
Конденсатор представляет собой две или несколько металлических пластин, разделенных диэлектриком. Этим диэлектриком чаще всего бывает слюда, воздух или керамика, являющиеся наилучшими изоляторами. Вполне естественно, что постоянный ток не может пройти через такой изолятор. Но почему же проходит через него переменный ток? Это кажется тем более странным, что такая же самая керамика в виде, например, фарфоровых роликов прекрасно изолирует провода переменного тока, а слюда прекрасно выполняет функции изолятора в паяльниках, электроутюгах и других нагревательных приборах, исправно работающих от переменного тока.

Посредством некоторых опытов мы могли бы «доказать» еще более странный факт: если в конденсаторе заменить диэлектрик со сравнительно плохими изоляционными свойствами другим диэлектриком, который является лучшим изолятором, то свойства конденсатора изменятся так, что прохождение переменного тока через конденсатор будет не затруднено, а, наоборот, облегчено. Например, если включить лампочку в цепь переменного тока через конденсатор с бумажным диэлектриком и затем заменить бумагу таким прекрасным изолятором, как стекло или фарфор такой же толщины, то лампочка начнет гореть ярче. Подобный опыт позволит прийти к заключению, что переменный ток не только проходит через конденсатор, но что он к тому же проходит тем легче, чем лучшим изолятором является его диэлектрик.

Однако, несмотря на всю кажущуюся убедительность подобных опытов, электрический ток — ни постоянный, ни переменный — через конденсатор не проходит. Диэлектрик, разделяющий пластины конденсатора, служит надежной преградой на пути тока, каким бы он ни был — переменным или постоянным. Но это еще не означает, что тока не будет и во всей той цепи, в которую включен конденсатор.

Конденсатор обладает определенным физическим

свойством, которое мы называем емкостью. Это свойство состоит в способности накапливать на обкладках электрические заряды. Источник электрического тока можно грубо уподобить насосу, перекачивающему в це-



пи электрические заряды. Если ток постоянный, то электрические заряды перекачиваются все время в одну сторону.

Как же будет вести себя в цепи постоянного тока конденсатор? Наш «электрический насос» будет качать заряды на одну его обкладку и откачивать их с другой обкладки. Способность конденсатора удерживать на своих обкладках (пластинах) определенную разницу количества зарядов и называется его емкостью. Чем больше емкость конденсатора, тем больше электрических зарядов может быть на одной его обкладке по сравнению с другой.

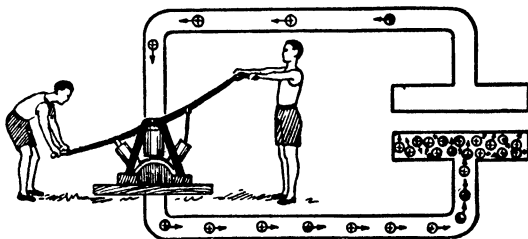
В момент включения тока конденсатор не заряжен — количество зарядов на его обкладках одинаково. Но вот ток включен. «Электрический насос» заработал. Он погнал заряды на одну обкладку и начал откачивать их с другой. Раз в цепи началось движение зарядов, значит в ней начал протекать ток. Ток будет течь до тех пор, пока конденсатор не зарядится полностью. По достижении этого предела ток прекратится.

Следовательно, если в цепи постоянного тока есть конденсатор, то после ее замыкания ток в ней будет течь столько времени, сколько нужно для полного заряда конденсатора.

Если сопротивление цепи, через которую заряжается конденсатор, сравнительно невелико, то время заряда оказывается очень коротким: он длится ничтожные доли секунды, после чего течение тока прекращается.

Иное дело в цепи переменного тока. В этой цепи

«насос» перекачивает электрические заряды то в одну сторону, то в другую. Едва создав на одной обкладке конденсатора превышение количества зарядов по сравнению с количеством их на другой обкладке, насос начинает пе-



рекачивать их в обратном направлении. Заряды будут циркулировать в цепи непрерывно, значит в ней, несмотря на присутствие не проводящего ток конденсатора, будет существовать ток — ток заряда и разряда конденсатора.

От чего будет зависеть величина этого тока?

Под величиной тока мы понимаем количество электрических зарядов, протекающих в единицу времени через поперечное сечение проводника. Чем больше емкость конденсатора, тем больше зарядов потребуется для его «заполнения», значит тем сильнее будет ток в цепи. Емкость конденсатора зависит от величины пластин, расстояния между ними и рода разделяющего их диэлектрика, его диэлектрической проницаемости. У фарфора диэлектрическая проницаемость больше, чем у бумаги, поэтому при замене в конденсаторе бумаги фарфором ток в цепи увеличивается, хотя фарфор является лучшим изолятором, чем бумага.

Величина тока зависит также от его частоты. Чем выше частота, тем больше будет ток. Легко понять, почему это происходит, представив себе, что мы наполняем водой через трубку сосуд емкостью, например, один литр, и затем выкачиваем ее оттуда. Если этот процесс будет повторяться раз в секунду, то по трубке в секунду будет проходить два литра воды: литр в одну сторону и литр в другую. Но если мы удвоим частоту процесса — будем заполнять и опорожнять сосуд 2 раза в секунду, то по трубке в секунду пройдет уже четыре литра воды — увеличение частоты процесса при неизменной емкости сосу-



да привело к соответствующему увеличению количества воды, протекающей по трубке.

Из всего сказанного можно сделать следующие выводы: Электрический ток—ни постоянный, ни переменный—через конденсатор не проходит. Но в цепи, соединяющей источник переменного тока с конденсатором, течет ток заряда и разряда этого конденсатора. Чем больше емкость конденсатора и выше частота тока, тем сильнее будет этот ток.

Эта особенность переменного тока чрезвычайно широко используется в радиотехнике. На ней основано и излучение радиоволн. Для этого мы возбуждаем в передающей антенне высокочастотный переменный ток. Но почему же ток течет в антенне, ведь она не представляет собой замкнутую цепь? Он течет потому, что между проводами антенны и противовеса или землей существует емкость. Ток в антенне представляет собой ток заряда и разряда этой емкости, этого конденсатора.



Что бы вы сказали, если бы на ваших глазах нечаянно уронили на пол катушку от радиопередатчика, имевшую вид цилиндрической серебряной спирали, и она... разбилась на мелкие куски. Оказывается, катушка была сделана из стеклянной трубки и лишь сверху покрыта тонким слоем серебра.

Могла ли работать в передатчике такая стеклянная катушка? Ведь стекло является прекрасным изолятором, сопротивление стеклянной палочки электрическому току столь велико, что его почти невозможно измерить, а провод, идущий на изготовление катушки, должен иметь возможно меньшее сопротивление: чем меньше сопротивление, тем медленнее будут затухать колебания в контуре.

Действительно, стекло является великолепным изолятором. Столь же правильно и то, что катушки надо делать

из материала, имеющего наименьшее сопротивление. Но эти два положения, как ни странно, не противоречат друг другу. Дело в том, что в катушке передатчика протекают высокочастотные токи, которые распространяются лишь по поверхности проводника. Поэтому витки катушки и покрыты снаружи серебром — одним из лучших проводников электрического тока. А по внутренним частям проводника высокочастотный ток не течет, поэтому дорогое и тяжелое серебро можно безбоязненно заменить стеклом.

Чем же объясняется такое распределение переменного тока в различных участках сечения провода?

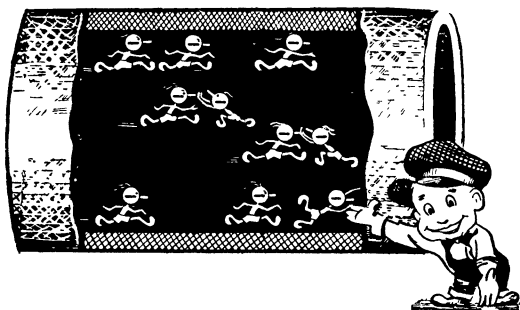
Из электротехники известно, что электрический ток — движение электрических зарядов — сопровождается возникновением магнитного поля. При нарастании тока поле становится интенсивным и распространяется на большее пространство, при его ослаблении силовые линии поля стягиваются, интенсивность поля уменьшается. Если такое движущееся магнитное поле пересекает проводник, то в нем возникает ток — начинается движение зарядов. При разворачивании поля порождаемый им индуктированный ток имеет направление, обратное направлению тока, вызвавшего появление поля. При сворачивании поля этот индуктированный ток имеет то же направление, что и первичный.

Каждый проводник мы можем рассматривать как большое количество тонких проводников, идущих параллельно. По каждому из них течет электрический ток и создает в окружающем пространстве магнитное поле, которое в своем движении воздействует на соседние проводники и в силу явления индукции порождает в них индуктированные токи.

Чтобы лучше разобраться в «механике» этого явления, представим себе два электрона, находящиеся в толще провода. Под влиянием электрического поля в проводнике должен начать течь электрический ток, т. е. наши два электрона должны начать двигаться. Но как только электрон пришел в движение, вокруг него создалось магнитное поле, в зону действия которого попадает соседний электрон. Электрическое поле побуждает этот второй электрон двигаться в одном направлении с первым, а магнитное поле первого электрона побуждает его двигаться в обратном направлении. Другими словами,

движение первого электрона будет тормозить движение второго.

Но ведь наши электроны совершенно одинаковы и подчиняются воздействию одинаковых сил. Если второй электрон испытывает тормозящее действие со стороны первого, то первый электрон испытывает точно такое же тормозящее действие со стороны второго. Электроны тормозят друг друга. Это торможение наиболее сильно про-



является в середине провода, где электроны со всех сторон окружены другими. Наименьшее торможение испытывают электроны в поверхностных слоях проводника, так как они не со всех сторон окружены другими электронами.

Торможение, испытываемое электронами со стороны соседних электронов, равноценно сопротивлению, так как электрическим сопротивлением мы называем все причины, затрудняющие движение электронов под воздействием электрического поля. Поэтому можно сказать, что ближе к середине провода сопротивление будет больше и, значит, величина тока там будет меньше.

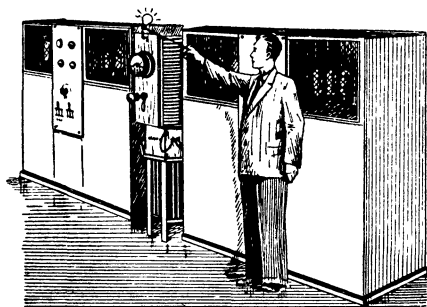
Чтобы не делать ошибок при рассмотрении подобных явлений, следует помнить, что тормозящее действие производится изменяющимся магнитным полем, а такое поле создается электроном, изменяющим скорость своего движения, т. е. движущимся с ускорением или замедлением. Поэтому ослабление тока внутри проводника наблюдается только у переменных токов, так как при переменном токе электрические заряды движутся то ускоренно, то замедленно. Чем выше частота тока, тем резче возрастает сопротивление внутренних областей проводни-

ка. При постоянном токе это имеет место лишь в те немногие мгновения, в которые ток нарастает. При установившемся токе изменения магнитного поля нет, поэтому нет и его тормозящего действия: ток течет равномерно по всей толще проводника.

В качестве примера можно привести некоторые цифры. Предположим, что катушка изготовлена из медного провода диаметром 10 мм. Сопротивление такого провода постоянному току, текущему по всей его толще, ничтожно мало. Для тока частотой 100 килогерц сопротивление катушки увеличится в 12 раз, а для тока частотой 10 мегагерц оно увеличится в 116 раз. По существу это означает, что ток проходит в данном случае только по  $\frac{1}{116}$  части сечения провода — по его тонкому поверхностному слою. Поэтому рассмотренное явление иногда называют «поверхностным эффектом» или «эффектом кожи» — ток распространяется как бы только по «коже» провода. Так, при частоте 3 мегагерца ток в медном проводе течет лишь по наружному слою толщиной 0,2 мм.

Раз ток по внутренним частям провода не течет, то без них можно обойтись, можно сделать провод в виде трубки или сделать его из изолятора, покрытого по поверхности хорошо проводящим слоем.

Поверхностный эффект позволяет проделывать интересные опыты. Например, в Московском Политехническом музее демонстраторы зажигают электрическую осветительную лампу, держа ее рукой за один вывод нити и прикасаясь к антенне радиопередатчика другим выводом. При этом ток, накаливающий лампу, проходит через демонстратора. Этот ток велик, он достигает 0,5 ампера, тогда как в несколько раз меньший ток низкой частоты уже является для человека смертельным.



Почему же демонстратор остается жив? Потому что ток может убить лишь тогда, когда он протекает по внутренним органам тела. А радиопередатчик возбуждает

ток высокой частоты, который внутрь тела не проникает; он течет в данном случае в полном смысле слова «по коже» и поэтому не воздействует на организм.



Казалось бы, вопрос ясен. Эти величины равны между собой. Но не всегда это верно. Например, будет ли одинаково сопротивление провода сечением  $1 \text{ мм}^2$  и сопротивление десяти проводов сечением по  $0,1 \text{ мм}^2$ , соединенных параллельно? Электротехника говорит, что эти величины равны, но для радиотехники это не так. Благодаря тому, что токи высокой частоты текут не по всей толще, а только по поверхности проводника (см. стр. 30), десять проводников окажутся выгоднее, так как их общая поверхность примерно в 3 раза больше, чем поверхность одного провода с таким же сечением.

На использовании этой особенности прохождения токов высокой частоты основано применение специального многожильного провода—литцендрата. Этот высокочастотный провод состоит из большого числа (до 20) отдельных тонких жилок диаметром  $0,07\text{—}0,2 \text{ мм}$ , перевитых между собой и заключенных в общую шелковую обмотку. Все жилки должны быть обязательно изолированы друг от друга по всей длине и соединены только на концах. Если они не будут изолированы, все преимущества такого провода пропадут, так как токи будут идти не по десяти отдельным путям, а по общему пути и влияние магнитного поля будет такое же, как в одножильном проводе.

Благодаря тому, что жилки перевиты между собой, они одинаково пересекаются магнитными полями, создаваемыми отдельными жилами, и ток распределяется в них также равномерно.

Чтобы наилучшим образом использовать материал проводов — медь, нужно применять как можно более тонкие жилки; тогда в каждой из них в прохождении тока будет принимать участие большая часть всего металла.

# 33 Сопротивления



У радиолюбителей слово «сопротивление» чаще всего связывается с представлением о тех маленьких радио-деталях, которые известны под этим названием и которые в большом количестве входят в состав любой радиосхемы.

Но в действительности это слово имеет очень много различных значений, зависящих от тех прилагательных, которые с ним сочетаются. Вот некоторые из них.

В общем смысле под сопротивлением понимается свойство электрической цепи, от которого зависит величина тока в цепи при неизменном действующем в ней напряжении: чем больше сопротивление, тем меньше ток. Наиболее простым является представление о сопротивлении, оказываемым электрическому току проводниками и зависящем лишь от их материала и размеров. Сопротивление проводников из различных материалов характеризуется удельным сопротивлением проводника.

В цепях постоянного тока величина сопротивления определяется главным образом этими двумя факторами. В цепях переменного тока приходится сталкиваться со значительно более сложными зависимостями, в особенности в цепях токов высокой частоты.

Все сопротивления в цепях переменного тока можно разбить на две группы: на сопротивления активные и реактивные. К активным относятся те сопротивления, в которых расходуется электрическая мощность, выделяющаяся в виде тепла. Поскольку мощность измеряется в ваттах, такие сопротивления называют иногда ваттными.

К реактивным относятся сопротивления, которые хотя и ограничивают величину тока в цепи, но в которых при этом мощность не расходуется на нагревание.

В цепях постоянного тока все сопротивления являются активными или ваттными, поэтому часто, желая подчеркнуть это обстоятельство, применяют термин сопротивление постоянному току или логически значи-

тельно менее обоснованный термин **омическое сопротивление**.

В цепях переменного тока любое сопротивление в той или иной степени является реактивным, так как оно неминуемо обладает индуктивностью или емкостью. Дополнительное сопротивление, вносимое в цепь индуктивностью, носит название **индуктивного сопротивления**, а дополнительное сопротивление, вносимое емкостью, — **емкостного**. Оба эти вида дополни-



тельного сопротивления называются **частотобезваттными**, так как на преодоление их энергия не расходуется, она лишь переходит из одного вида в другой. Например, переменный ток, проходящий по катушке индуктивности, создает вокруг нее переменное магнитное поле; энергия, накопленная в этом поле в течение четверти каждого периода, поступает обратно в цепь во время следующей четверти периода.

Такое же явление происходит с конденсатором: энергия, накопленная в электрическом поле при заряде конденсатора, отдается обратно в цепь во время его разряда.

Цепи переменного тока обычно характеризуются тем родом сопротивления, которое в них преобладает. Например, сопротивление катушки, выполненной проводом малого удельного сопротивления, является главным образом индуктивным. Но, строго говоря, сопротивление любой цепи переменному току всегда складывается из сопротивлений активного, индуктивного, емкостного и **сопротивления, обусловленного поверхностным эффектом** (см. стр. 30), хотя в любой конкретной цепи одно или несколько из этих видов сопротивлений могут быть практически столь малы, что при расчетах ими можно пренебречь. Результирующее сопротивление цепи переменному току называют **комплексным**.

Сопротивления, сконструированные таким образом, что с их индуктивными или емкостными свойствами можно не считаться, известны под названиями **безиндукционных** или **беземкостных**.

Сопротивление цепи, содержащей индуктивности и емкости, зависит не только от их величины, но и от частоты переменного тока. Сопротивление такой цепи переменному току имеет еще одно название — **полного**

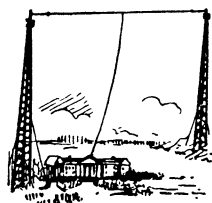
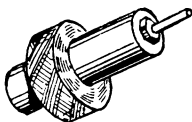
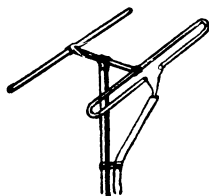
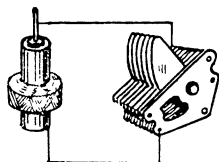
или кажущегося сопротивления. При определенных соотношениях между частотой тока, индуктивностью и емкостью в цепи наступает явление резонанса.

При параллельном соединении индуктивности и емкости полное сопротивление цепи резко возрастает, а при последовательном оказывается крайне небольшим.

Сопротивление обычной электрической цепи тем больше, чем она длиннее. Но высокочастотные линии, например коаксиальные кабели, применяемые в телевизионных антеннах, обладают интересным свойством.

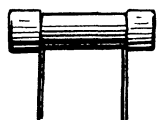
Если нагрузка на конце кабеля (например, сопротивление входной цепи приемника) выбрана правильно и, как говорят, согласована с кабелем, то сопротивление кабеля не зависит от длины и остается постоянным для линии данной конструкции. Такое сопротивление известно под названием волнового.

Для характеристики свойств усилительных электронных ламп приходится вводить понятие о внутреннем сопротивлении лампы, которое надо знать для расчета усиления каскада, а также понятия входного



сопротивления лампы и шумового сопротивления, определяющего величину шумов, создаваемых лампой. Для расчета излучаемой антенной мощности очень удобно понятие о сопротивлении излучения, а для колебательного контура — о сопротивлении потерь, характеризующем потерю в контуре мощности при наличии высокочастотных колебаний.





Сопротивления, включаемые в цепь в качестве дополнительной нагрузки, необходимой для нормальной работы цепи, обычно называют балластными.

Много названий сопротивлений связано с материалом, из которого они сделаны, и их конструкцией. Известны, например, сопротивления проволочные и непроволочные; последние в свою очередь имеют несколько названий: углеродистые, угольные, коксовые, химические, керамические. С конструкциями сопротивлений связаны названия постоянные, переменные, полупеременные и остеклованные.

Перечисленные 33 названия сопротивлений вовсе не являются их полным списком. Каждый радиолюбитель может его значительно расширить.

## Существует ли $R < 0$ ? **отрицательное СОПРОТИВЛЕНИЕ?**

Под словом «сопротивление» в электротехнике и радиотехнике понимается сопротивление, оказываемое проводником прохождению электрического тока, т. е. движению электрических зарядов.

Существуют вещества, в которых движение зарядов почти невозможно. Такие вещества называются изоляторами. В ряде веществ движение зарядов возможно, но происходит с большим трудом.

Такие вещества получили название полупроводников. Значительное количество веществ относится к категории проводников, характерных тем, что движущиеся заряды встречают в них минимальное сопротивление. Однако даже лучшие проводники, такие, как серебро или медь, все же оказывают движению зарядов определенное сопротивление, на преодоление которого приходится затрачивать мощность.

Возможны ли случаи, когда движение зарядов происходит без сопротивления, т. е. когда сопротивление электрическому току можно считать равным нулю?

Мы знаем два таких случая.

Первый из них — движение зарядов в пустоте. Сопротивление движению зарядов физически объясняется столкновениями или иными видами взаимодействия зарядов с частицами вещества. В пустоте, где вещество отсутствует, естественно, отсутствует и его сопротивление движению зарядов. Даже при таком разрежении, какое достигается в электронных лампах (см. стр. 51) и которому еще далеко до пустоты, сопротивление остатков газа столь мало, что им практически можно пренебречь.

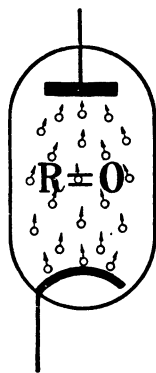
Второй случай отсутствия сопротивления наблюдается у некоторых металлов в сверхпроводящем состоянии. Установлено, что ряд металлов, их сплавов и некоторых химических соединений при сильном охлаждении утрачивает сопротивление электрическому току, становится «сверхпроводником». К ним относятся, например, алюминий, свинец, цинк, уран, ртуть. Температуры, при которых наблюдается переход в сверхпроводящее состояние, колеблются в пределах примерно  $1-10^{\circ}$  абсолютной шкалы температур (нуль абсолютной шкалы соответствует температуре минус  $273,16^{\circ}\text{C}$ ).

Физические явления, связанные со сверхпроводимостью, еще окончательно не выяснены, но бесспорными тщательными опытами, проведенными акад. Капицей, подтверждено, что сопротивление материалов в сверхпроводящем состоянии равно нулю или во всяком случае чрезвычайно близко к нему и что, например, ток, возбужденный в кольце из сверхпроводника, не уменьшается и циркулирует все время, пока поддерживается нужная температура.

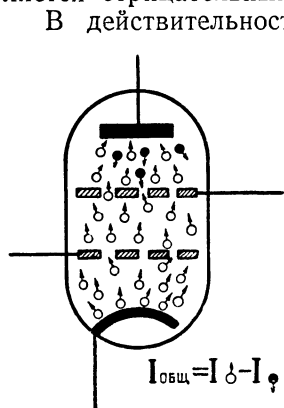
Возможно ли сопротивление меньше нуля, т. е. сопротивление отрицательное?

В радиотехнике приходится встречаться с понятием отрицательного сопротивления, причем его нельзя считать достаточно четким и во всех случаях одинаково толкуемым.

В качестве одного из частых примеров отрицательного сопротивления приводится известная особенность работы четырехэлектродной лампы (тетрода) в динактрон-



ном режиме. Эта особенность заключается в том, что при увеличении анодного напряжения анодный ток лампы не возрастает, как это должно быть по закону Ома, а, наоборот, уменьшается. По принятому толкованию, это противоречащее основному закону электротехники уменьшение тока при увеличении напряжения, является признаком того, что действующее в цепи сопротивление является отрицательным.



В действительности никакого «отрицательного» сопротивления в подобной цепи нет. Физика динаatronного эффекта заключается в том, что электроны, образующие анодный ток, с силой ударяясь об анод, выбивают из него другие электроны, называемые вторичными.

Вторичные электроны, получив в результате удара некоторый запас энергии, отлетают от анода по направлению к экранирующей сетке и могут настолько приблизиться к ней, что притягивающее действие напряжения на экранирующую

сетке превысит притягивающее действие напряжения на аноде. Поэтому такие электроны летят к экранирующей сетке, образуют в лампе ток, направленный навстречу нормальному анодному току, и уменьшают его. Действующий анодный ток равен разности двух указанных токов.

При увеличении анодного напряжения электроны с большей силой ударяются об анод и выбивают из него больше вторичных электронов, вылетающих с увеличенной скоростью. Поток вторичных электронов непропорционально увеличивается — в итоге действующий анодный ток становится меньше.

Как видим, в данном случае нельзя усмотреть присутствия какого-либо сопротивления, обладающего необычным свойством. Суть явления заключается в возникновении второго потока электронов, направление которого противоположно направлению основного потока.

Не менее часто понятие отрицательного сопротивления используется для объяснения работы регенеративных приемников, гетеродинов и т. д.

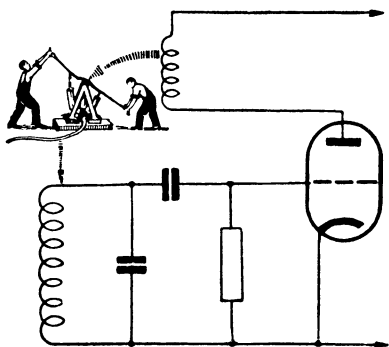
Это объяснение сводится к тому, что обратная связь вносит в колебательный контур отрицательное сопротивление и этим уменьшает его положительное сопротивление — сопротивление потерь. Когда отрицательное сопротивление по величине равно положительному, действующее сопротивление контура становится равным нулю.

При дальнейшем увеличении вносимого отрицательного сопротивления общее сопротивление контура становится отрицательным. Контур с отрицательным сопротивлением превращается в генератор и становится источником колебаний.

По существу в этом случае нельзя говорить об отрицательном сопротивлении контура, как о реальном явлении. Сопротивление контура движению электрических зарядов остается неизменным при любом значении обратной связи.

Качающийся маятник, предоставленный самому себе, скоро остановится. Но мы можем сообщать маятнику толчки, совпадающие по частоте и направлению с его колебаниями. Интенсивность толчков можно подобрать так, что они будут как раз компенсировать действие всех «сопротивлений» (сопротивление воздуха, трение в точке подвеса и пр.), и колебания маятника из затухающих превратятся в незатухающие. Увеличив еще более интенсивность толчков, мы превратим колебания маятника в нарастающие и сможем заставить его совершать какую-нибудь работу.

По аналогии с колебательным контуром в этом случае можно было бы считать, что все сопротивления, тормозившие ранее движение маятника, стали отрицательными и не только не тормозят его, но, наоборот, подгоняют. Однако, мы знаем, что это не так: маятник, совершая работу, продолжает качаться только потому, что мы периодически пополняем своими толчками запас его энергии,



Подобным же образом пополняются потери энергии и в колебательном контуре. Поле катушки обратной связи, изменяясь в такт с электрическими колебаниями в контуре, поддерживает их, пополняя энергию, которая затрачивается на преодоление сопротивлений контура и излучение.

Понятие отрицательного сопротивления нередко привлекается для пояснения особенностей работы «генерирующих» кристаллических детекторов, к которым относится ряд детекторов от цинкитного детектора О. Лосева до современного германиевого диода (см. стр. 237). Генерирование таких детекторов объясняют наличием в их характеристике участка с отрицательным сопротивлением. При работе на этом участке характеристики увеличение текущего через детектор тока сопровождается не увеличением падения напряжения на детекторе, а его уменьшением.

Физические процессы, происходящие в детекторах подобного типа, пока полностью не выяснены, но совершенно очевидно, что они вызывают в кристалле детектора возникновение дополнительного тока, по направлению совпадающего с основным. Этот дополнительный ток, проходя через соединенный с детектором генератор, создает на его внутреннем сопротивлении дополнительное падение напряжения. Поэтому общее падение напряжения на внутреннем сопротивлении генератора возрастает, а так как мы не учитываем появления дополнительного источника тока, мы воспринимаем увеличение падения напряжения на внутреннем сопротивлении генератора, как уменьшение падения напряжения на сопротивлении детектора.

Таким образом, сопротивление электрическому току может либо иметь какое-то определенное положительное значение, либо равняться нулю. Отрицательным оно никогда не бывает. Отрицательного сопротивления, как физического свойства вещества не существует, хотя отдельные цепи в результате происходящих в них процессов могут вести себя так, как если бы их сопротивление было отрицательным. Однако при этом в таких цепях обязательно находятся обычные источники электрического тока, энергия которых и расходуется на поддержание всех происходящих в цепях процессов.



Работа радиовещательной аппаратуры характерна большим числом преобразований одного вида энергии в другой.

Когда, например, сельский радиослушатель включает свой радиоприемник «Родина», в его радиоустановке происходит ряд превращений энергии. Химическая энергия гальванических элементов превращается в электрическую, электрическая в нитях накала ламп — в тепловую, причем тепловая энергия частично снова превращается в электрическую, разгоняя электроны до скорости, нужной для вылета их из нити, т. е. способствуя образованию анодного тока. В неоновой индикаторной лампочке электрическая энергия преобразуется отчасти в тепловую, нагревая газ и баллон лампочки, отчасти в световую, порождая известное всем красное свечение. Свечение нитей накала ламп является результатом трехкратного преобразования энергии: химической в электрическую, затем электрической в тепловую и, наконец, тепловой в световую. Последним звеном длинного ряда преобразований энергии является преобразование громкоговорителем электрической энергии в механическую — звуковую.

Работа любой радиоустановки богата примерами подобных преобразований.

В помещенной ниже таблице приведены десять наиболее распространенных в радиоаппаратуре видов преобразования энергии.

Во многих случаях между приведенными в таблице этапами есть еще несколько промежуточных и побочных. Например, в работе оптического индикатора настройки, приведенного в качестве примера преобразования электрической энергии в световую, можно насчитать ряд других преобразований: электрической в тепловую (нагрев катода), тепловой в световую (свечение катода)

и электрическую (работа вылета), электрической в тепловую (нагрев анода) и световую (свечение экрана) и т. д.

	Виды преобразования энергии	Элементы аппаратуры
	 Механическая в электрическую	Электродинамический микрофон, граммофонный звукосниматель
	 Электрическая в механическую	Громкоговоритель, двигатель электропроигрывателя, подвижная система измерительных приборов
	 Световая в электрическую	Фотоэлемент, иконоскоп
	 Электрическая в световую	Электроннолучевые трубки телевизоров и осциллографов, оптический индикатор настройки
	Химическая в электрическую	Гальванический элемент, аккумулятор (разрядка)
	 Электрическая в химическую	Аккумулятор (зарядка)

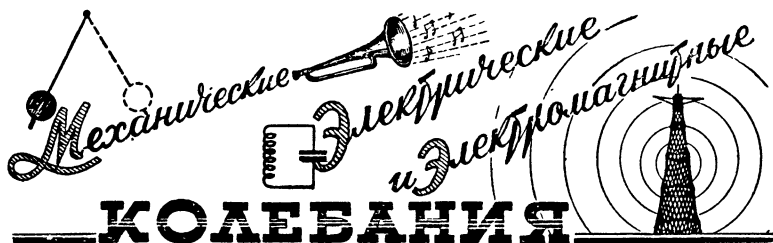
Виды преобразования энергии	Элементы аппаратуры
 <p data-bbox="410 272 629 336">Тепловая в электрическую</p>	<p data-bbox="664 272 925 408">Термоэлемент, катод (разгон электронов до скорости, нужной для вылета)</p>
 <p data-bbox="410 536 629 600">Электрическая в тепловую</p>	<p data-bbox="664 536 925 600">Нити накала радиоламп</p>
 <p data-bbox="410 743 629 807">Электрическая в магнитную</p>	<p data-bbox="664 743 925 807">Записывающая головка магнитофона</p>
 <p data-bbox="410 879 629 943">Магнитная в электрическую</p>	<p data-bbox="664 879 925 975">Головка воспроизведения записи магнитофона</p>

Следует учитывать, что переход одного вида энергии в другой всегда сопровождается уменьшением количества первичного вида энергии. Тепловая энергия катода затрачивается на разгон электронов до скорости, нужной для вылета и уменьшается на такую величину, какую унесли с собой вылетевшие электроны.

В этом отношении интересен последний из приведенных в таблице примеров преобразования энергии. При воспроизведении магнитофоном записи на магнитной ленте, магнитная энергия ленты не уменьшается, в противном случае каждое последующее воспроизведение было бы слабее предыдущего. Движущееся магнитное поле ленты за счет энергии мотора наводит в головке вос-



произведения переменное магнитное поле, энергия которого и расходуется на создание в витках обмотки электрического тока. Преобразование магнитной энергии в электрическую происходит именно в этом последнем звене: магнитное поле головки — обмотка катушки, а не в звене магнитное поле ленты — обмотка головки, так как магнитное поле ленты не становится слабее.

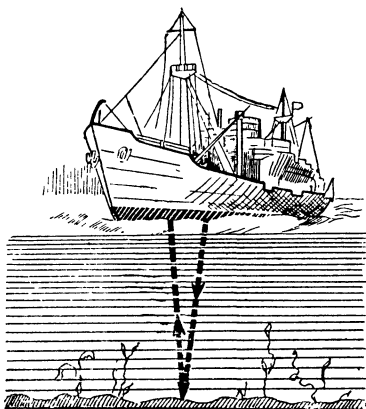


Радиотехнику, взятую во всем ее широком современном объеме, можно назвать техникой колебательных процессов.

Действительно, радиосвязь осуществляется при помощи электромагнитных волн, представляющих собой периодически меняющееся электромагнитное поле; работа радиоаппаратуры основана на использовании переменных токов, являющихся электрическими колебаниями — колебаниями электрических зарядов; мембраны телефонов и микрофонов, диффузоры громкоговорителей, иглы звукооснимателей совершают механические колебания; колебания интенсивности магнитного поля в зазорах головок магнитофонов лежат в основе работы этих аппаратов; фотоэлементы представляют собой приборы, использующие световые колебания, а электроннолучевые трубки создают их; нагрев катодов радиоламп — явление, связанное с механическими тепловыми колебаниями молекул и атомов.

Этот перечень нетрудно продолжить. Например, можно было бы вспомнить инфракрасные и ультрафиолетовые колебания, используемые некоторыми фотоэлементами, ультразвуковые колебания пьезопластин в эхолотах и т. п.

Мир колебаний велик, его охват радиотехникой с каждым годом расширяется. В приводимой ниже таблице показаны обследованные пока спектры колебаний двух основных видов — механических и электрических. Под последней рубрикой объединены собственно электрические колебания—колебания электрических зарядов и колебания электромагнитных полей, т. е. электромагнитные волны. Указанные в таблице границы различных зон приблизительны, так как в большинстве случаев точной границы не существует. Как нельзя, например, провести резкую грань между длинными и средними волнами, так и нельзя точно определить ее между ультрафиолетовыми и рентгеновскими лучами, между слышимыми звуками и ультразвуками.



Механические колебания	Частота, герц	Электрические колебания
Инфразвуки	10	Технические переменные токи
Слышимые звуки	10 <sup>2</sup>	Токи звуковой частоты
	10 <sup>3</sup>	
	10 <sup>4</sup>	
Ультразвуки	10 <sup>5</sup>	Длинные радиоволны
	10 <sup>6</sup>	Средние радиоволны
	10 <sup>7</sup>	Короткие радиоволны
	10 <sup>8</sup>	Ультракороткие (метровые) радиоволны
	10 <sup>9</sup>	Дециметровые и сантиметровые радиоволны
	10 <sup>10</sup>	
	10 <sup>11</sup>	Миллиметровые радиоволны
Тепловые колебания	10 <sup>12</sup>	
	10 <sup>13</sup>	

Механические колебания	Частота, герц	Электрические колебания
Колебания в атомах и молекулах	$10^{14}$	Инфракрасные лучи
	$10^{15}$	Видимый свет
	$10^{16}$	Ультрафиолетовые лучи
	$10^{17}$	
	$10^{18}$	Рентгеновские лучи
	$10^{19}$	
	$10^{20}$	
	$10^{21}$	Гамма-лучи
	$10^{22}$	Космические лучи

Начальная частота таблицы 10 герц. Механические колебания такой частоты принято называть инфразвуковыми. Колебаний столь низкой частоты мы не слышим, они не воздействуют на наш слуховой аппарат. Но при большой мощности инфразвуковые колебания производят на организм болезненно неприятное действие. Примером может служить так называемый «голос моря» — мощные инфразвуковые колебания, возникающие на морском берегу при определенном сочетании частоты волн и ветра.

Электрические колебания инфразвуковых частот — переменные токи частоты порядка 10 герц — практического применения почти не находят и используются для экспериментов с инфразвуками.

Важным рубежом шкалы колебаний служит частота 15—16 герц. Механические колебания такой частоты становятся слышимыми. С этой частоты начинается мир звуков. С этой же частоты начинается и использование электрических колебаний. Переменные токи частотой 15—16 герц применяются в многочисленной аппаратуре как электроакустического, так и иного назначения. Переменные токи такой частоты используются и в технике — в силовых сетях.

Далее следует отметить частоты 50—60 герц. Они обычно составляют нижнюю границу полосы частот, воспроизводимой нашими громкоговорителями, во всяком случае хорошими громкоговорителями. Кроме того, они являются наиболее распространенными частотами осветительных сетей переменного тока.

Верхний предел полосы звуковых частот находится около  $16 \cdot 10^3$  герц. Более высоких частот человеческое

уху обычно не воспринимает. Далее начинается область ультразвуковых частот, обладающих многими замечательными свойствами. Область применения механических колебаний ультразвуковой частоты быстро расширяется. Ультразвуковые эхолоты, гидролокаторы, дефектоскопы стали обычными техническими приборами. В самых разнообразных установках используется дробящее действие ультразвука. Применения ультразвука весьма разнообразны: от ультразвуковых микроскопов до стирки белья ультразвуком. Механические колебания ультразвуковой частоты создаются, как правило, электрическими средствами, поэтому электрические колебания этой частоты применяются чрезвычайно широко.

Трудно назвать какую-либо определенную верхнюю границу ультразвуковых частот. Наиболее распространено использование частот примерно до  $10^5$  герц, но уже получены и постепенно находят практическое применение и более высокие частоты, вплоть до нескольких мегагерц.

Электрические колебания представляют собой колебания электрических зарядов в проводниках. При частотах, начиная с самых низких инфразвуковых и кончая десятками тысяч герц, эти колебания сопровождаются возникновением в окружающем пространстве переменных электрических и магнитных полей, действие которых проявляется на сравнительно небольшом расстоянии. Этими полями пользуются, например, для трансформирования тока и напряжения.

При более высоких частотах, начиная примерно с  $10^5$  герц, начинает сказываться интереснейшая особенность: образовавшееся в пространстве возле проводника электромагнитное поле при определенных условиях отрывается от него и распространяется со скоростью света, унося с собой определенную энергию. Такое «оторвавшееся» от проводника поле мы называем радиоволнами. Радиоволны имеют такую же частоту,



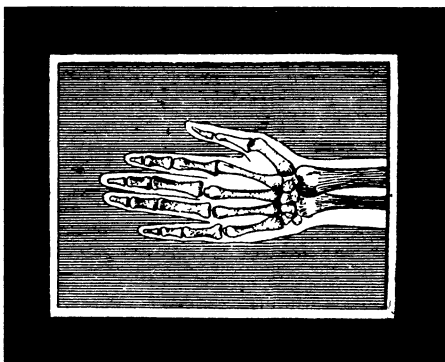
как и вызвавшие их электрические колебания. В настоящее время изучены и так или иначе используются радиоволны, а следовательно, и электрические колебания до частот порядка  $10^{11}$  герц (миллиметровые радиоволны).

Важнейшим рубежом в таблице колебаний являются частоты  $10^{13}$ — $10^{14}$  герц. Механические колебания до этого рубежа совершаются большими массами вещества, действующими как одно целое. Механические колебания более высоких частот относятся уже к разряду тепловых колебаний, которые совершают отдельные молекулы и атомы. Эти колебания сопровождаются излучением наиболее длинноволновых инфракрасных (тепловых) лучей, т. е. колеблющиеся молекулы или атомы являются, таким образом, источником электромагнитных волн.

Более короткие инфракрасные лучи возбуждаются уже в результате внутриатомных процессов, а именно при переходе электронов с более удаленных от ядра оболочек на оболочки, более близкие к ядру. Получение атомом какого-то количества энергии, например в результате столкновения с другой частицей, приводит к перескакиванию электронов с ближних к ядру оболочек на более отдаленные (чем дальше оболочка от ядра, тем большей энергией обладают находящиеся на ней электроны). Однако электроны не удерживаются там долго и возвращаются обратно на «свою» оболочку, отдавая излишек энергии в виде излучения. Электроны наружных оболочек отдают эту излишнюю энергию в виде инфракрасного и светового излучения, электроны оболо-

чек, находящихся ближе к ядру, — в виде излучения ультрафиолетовых и рентгеновских лучей.

Наиболее высокочастотными механическими колебаниями являются колебания отдельных атомов в молекулах и электронов в атомах. Эти колебания сопровождаются из-



лучением ультрафиолетовых и рентгеновских лучей. Еще более высокочастотными электромагнитными волнами являются гамма-лучи. Они возбуждаются не в результате перехода электронов с одной оболочки на другую, а в результате процессов, происходящих в атомном ядре. Некоторые ядерные процессы сопровождаются выбрасыванием из ядра альфа- и бета-частиц (ядер гелия и электронов) и излучением гамма-лучей.

Замыкают таблицу электромагнитных колебаний космические лучи. Это может вызвать недоумение. Ведь космические лучи представляют собой поток материальных частиц, несущихся в космическом пространстве с огромной скоростью. Почему же они попали в рубрику электромагнитных колебаний?

Здесь мы сталкиваемся с одной из многих интересных загадок. Движущиеся элементарные частицы ведут себя одновременно и как частицы и как волны. Мы обычно рассматриваем электроны как материальные частицы, имеющие определенную массу. Но если пропустить пучок электронов сквозь очень малое отверстие, то выявляются их волновые свойства. Частота, соответствующая этим волнам, зависит от скорости движения частицы. Например, частота электронов, движущихся с такими скоростями, с какими нам практически приходится иметь дело, бывает порядка  $6 \cdot 10^{16}$ — $6 \cdot 10^{19}$  герц (длина волны 0,005—0,000005 микрона), т. е. одинакова с частотой рентгеновских лучей. Частицы, составляющие космические лучи, движутся с гораздо большими скоростями, которым соответствуют частоты порядка  $10^{22}$ — $10^{26}$  герц. Это самые высокие электромагнитные колебания, которые нам известны.



На вопрос «что такое вакуум?» обычно отвечают: «пространство с разреженным воздухом» или «пространство внутри сосуда, из которого выкачан воздух».

Можно ли удовлетвориться подобными ответами? Всякую ли степень разрежения можно назвать вакуумом и находится ли степень вакуума в какой-либо связи с атмосферным давлением?

Действительно, предположим, что в баллоне воздух разрежен в 10 000 раз по сравнению с его плотностью при нормальном атмосферном давлении, т. е. давление внутри баллона равно 0,076 мм ртутного столба. Будет ли в баллоне вакуум? И можем ли мы продолжать считать, что в баллоне вакуум, если этот баллон поднят на высоту 100 км над поверхностью земли, где давление воздуха составляет всего 0,007 мм ртутного столба? Ведь в этом случае плотность воздуха внутри баллона станет в 10 раз большей, чем снаружи. Если баллон непрочен, то его разорвет, как бомбу. Где же теперь будет вакуум — внутри баллона или снаружи?

Современная физика связывает понятие вакуума не с величиной давления вне или внутри сосуда, а с длиной свободного пробега молекул газа внутри него. Молекулы газов находятся в непрерывном хаотическом тепловом движении, достигающем больших скоростей: при комнатной температуре скорость теплового движения молекул воздуха составляет около 450 м в секунду, т. е. приближается к скорости пули. Двигаясь во всех направлениях, молекулы постоянно сталкиваются друг с другом. Чем плотнее воздух, тем больше молекул заключается в единице объема и тем чаще молекулы будут сталкиваться.

Если воздух разредить, то молекулы будут сталкиваться менее часто. В среднем им придется пролетать больший путь между двумя столкновениями. Путь, который молекуле приходится пролетать между двумя столкновениями, и называется длиной свободного пробега.

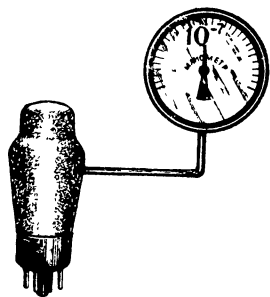
Вакуумом с физической точки зрения считается такое разрежение, при котором длина свободного пробега больше размеров сосуда. В этом случае столкновения молекул будут редки, большая часть молекул в своем движении от одной стенки сосуда до другой не встретится с другими молекулами.

При разрежении в миллион раз (при давлении порядка 0,001 мм) средняя длина свободного пробега молекулы воздуха равна 10 см. Так как размеры баллона обычных приемно-усилительных ламп меньше 10 см, то

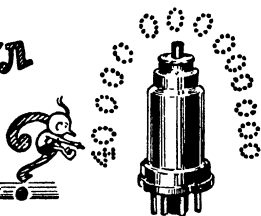
с точки зрения физики пространство внутри этих ламп уже при подобном разрежении можно считать вакуумом.

Но для хорошей работы лампы такая степень вакуума недостаточна. Электроны, в огромном количестве летящие от катода лампы к ее аноду, будут все же встречать на своем пути довольно много молекул воздуха, столкновения электронов с ними будут часты. В результате этих столкновений молекулы воздуха ионизируются, анодный ток резко возрастает, положительные ионы оседают на отрицательно заряженной сетке, изменяют ее заряд, а следовательно, и характер работы лампы. В приемниках и усилителях это, в частности, приводит к сильным искажениям. Поэтому в радиолампах добиваются значительно большего разрежения, достигающего обычно до  $10^{-7}$  мм (0,0000001 мм), т. е. давление понижается примерно в десять миллиардов раз по сравнению с нормальным атмосферным давлением. При таком разрежении длина свободного пробега молекул измеряется километрами, и на пути от катода к аноду примерно лишь один электрон из миллиона может встретиться с молекулой воздуха. Столь редкие столкновения не могут вредно отразиться на работе лампы.

Таким образом, степень вакуума можно характеризовать отношением средней длины пробега молекул газа к размерам баллона.



**Сколько же молекул  
воздуха  
остается в лампе?**



При таком огромном разрежении, какое достигается в радиолампе, в ней остается примерно одна десятимиллиардная часть того количества воздуха, которое было до откачки. Уменьшение в десять миллиардов раз — колос-



сальное уменьшение. Если бы расстояние от Земли до Солнца уменьшилось в 10 миллиардов раз, то Землю и Солнце разделяли бы всего 15 м — ширина среднего раз-  
мера улицы. Земля, уменьшенная в такое число раз, пре-  
вратилась бы в крупинку диаметром около 1 мм.

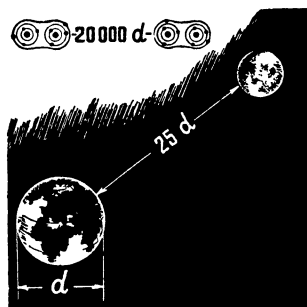
И все-таки при подобном разрежении в баллоне электронной лампы обычных размеров, например, 6КЗ, остается еще  $40 \cdot 10^{12}$  (сорок триллионов) молекул.

Это число огромно. Самые мелкие маковые зернышки имеют в диаметре около 0,5 мм. Разместив их правильными рядами, мы сможем уложить в одном кубическом миллиметре восемь зернышек. Какой же объем займут сорок триллионов таких зернышек?

Несложный подсчет покажет, что для хранения подобного количества маковых зернышек потребуется помещение емкостью пять тысяч кубических метров, т. е. куб со стороной около 17 м.

Но молекулы настолько малы, что для размещения их в количестве даже десятков триллионов нужен совсем микроскопический объем. Диаметр молекулы газа в среднем равен  $1 \cdot 10^{-6}$  мм — одной миллионной миллиметра. Если те сорок триллионов молекул, которые остались в баллоне лампы, уложить плотно одну к другой, то они займут объем всего лишь  $4 \cdot 10^{-5}$  мм. Этот объем в 250 миллионов раз меньше объема баллона лампы. При равномерном размещении внутри баллона лампы всех оставшихся в ней после откачки молекул в каждом кубическом миллиметре окажется около 80 000 молекул.

Это число тоже очень велико, но чтобы составить правильное представление о том, на каком расстоянии молекулы будут находиться друг от друга, надо перевести все величины в привычные нам масштабы.

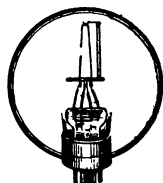


При равномерном распределении 80 000 молекул в одном кубическом миллиметре они будут находиться друг от друга на расстоянии примерно 0,02 мм. Это расстояние в 20 000 раз больше диаметра молекулы. Перейдем к астрономическим масштабам. Земля удалена от Луны на рас-

стояние, примерно в 25 раз превышающее диаметр Земли. Округляя, можно считать, что Земля находится от Луны в 1 000 раз ближе, чем молекула от молекулы в баллоне лампы. Чтобы еще лучше представить это себе вернемся к маковым зернышкам. Два мельчайших маковых зернышка, разнесенные на расстояние, в 20 000 раз превышающее их диаметр, будут отстоять друг от друга на 10 м. В переводе на привычные нам масштабы жилплощади это составляет два маковых зернышка в комнате площадью в 50 м<sup>2</sup>.

Итак, два маковых зернышка в огромной комнате — вот плотность размещения молекул газа в электронной лампе после откачки. Естественно, что электроны, летящие от катода к аноду, почти не встречают на своем пути молекул воздуха; такие встречи возможны лишь в виде крайне редких исключений.

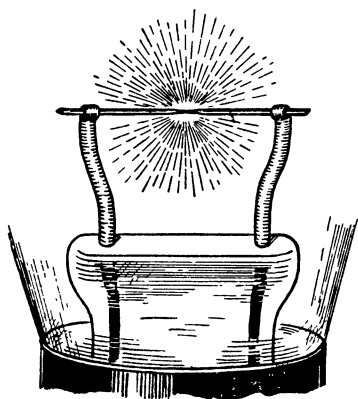
## **ПОЧЕМУ ПЕРЕГОРАЕТ НИТЬ НАКАЛА**



Почему у ламп перегорают нити накала или, выражаясь менее точно, но зато более кратко, почему перегорают лампы? Вы купили лампу, электронную или осветительную; она исправно работает некоторое время, но в конце концов перегорает, хотя условия ее работы не изменялись — к ней всегда подводится одно и то же, нормальное для нее напряжение накала. В чем заключается «физика» этого перегорания, почему один и тот же ток, нормальный вначале, впоследствии оказывается для нити губительным?

Рассматривая перегоревшую осветительную лампу, мы замечаем, что ее баллон изнутри потемнел. Появление темного налета объясняется оседанием на стенках баллона паров вольфрама, из которого сделана нить. Нити накала осветительных ламп работают при температуре порядка 2 500°C. При такой температуре начинается заметное испарение вольфрама. Процесс перегорания нити бывает обычно таков: толщина нити по всей ее длине

не абсолютно одинакова, местами она несколько толще, местами тоньше. Там, где нить тоньше, ее сопротивление естественно больше, вследствие чего это место нагревается сильнее (нагрев пропорционален величине сопротивления).



А раз температура нити больше, то и ее испарение в этом месте происходит интенсивнее, отчего нить еще более утончается.

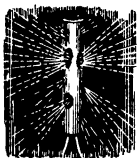
В итоге получается своеобразная «обратная связь»: увеличение испарения влечет за собой ускоренное утончение нити, а это в свою очередь приводит к возрастанию испарения.

Процесс этот завершается перегоранием — расплавлением — нити в том месте, которое было наиболее тонким. Получается точно по пословице: где тонко, там и рвется. Естественно, что кроме толщины нити, играют роль и условия ее охлаждения. Например, нити редко перегорают около держателей, способствующих отводу тепла. Если нить перегорит около держателя, то это означает, что ее толщина в этом месте была много меньше, чем на остальной длине.

Процесс испарения материала нити у электронных ламп менее заметен, чем у осветительных, потому что нити накала электронных ламп работают при меньших температурах. Но сам «механизм» перегорания у них такой же: наиболее интенсивное испарение металла нити происходит там, где она особенно тонка. Лампы прямого накала чаще перегорают, чем подогревные, потому что нити накала батарейных ламп вообще тоньше и, кроме того, условия их охлаждения значительно хуже. Соприкосновение нити накала подогревных ламп с фарфором или сделанным из другого материала изолятором, отделяющим нить накала от катода, способствует хорошему охлаждению.

Совершенно очевидно, что даже небольшой перекал весьма укорачивает продолжительность жизни нити на-

кала — процесс утончения тонких мест при перекале происходит с увеличенной интенсивностью. Для иллюстрации стоит привести одну цифру: увеличение испарения вольфрама при повышении его температуры пропорционально 38-й степени температуры, т. е. пропорционально  $T^{38}$ .



## ПЕРЕГРЕВ

*из-за недокала*

Нет ли в заголовке ошибки? Совершенно очевидно, что перегрев может явиться следствием перекала, но каким образом он может возникнуть из-за недокала? Тут естественно ожидать не перегрева, а недогрева.

Но тем не менее в заголовке ошибки нет. Стремясь сберечь лампы, радиолюбители часто недокаливают их, а это приводит к вредному перегреву, и лампа выходит из строя. Объясняется это следующим.

В настоящее время все радиоприемные лампы имеют активированные катоды, покрытые слоем окислов бария и стронция. Активирующие вещества позволяют получать достаточную электронную эмиссию при низкой температуре — всего 750—800°C. При такой температуре испарение вольфрама практически очень мало и срок службы ламп определяется обычно не перегоранием нити, а испарением или разрушением активного оксидного слоя.

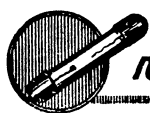
Именно в этом отношении и опасен недокал ламп. Для оксидного слоя большую опасность представляет возникновение на его поверхности очагов перегрева — более сильного нагрева отдельных точек поверхности по сравнению с соседними, а такие очаги возникают при недокале.

Анодный ток лампы проходит сквозь оксидный слой. Если катод недокален, то сопротивление оксидного слоя сильно возрастает. Особенно велико сопротивление в тех местах, где в оксидном слое имеются утолщения. Проходя сквозь эти места, анодный ток вызывает их сильный нагрев (чем больше сопротивление, тем больше

тепла выделяется на нем при данном токе), а это в свою очередь приводит к увеличению их эмиссии, вследствие чего анодный ток еще более возрастает. В результате температура таких участков оксидного слоя достигает точки испарения оксида.

Процесс носит такой характер в тех случаях, когда уменьшение накала не сопровождается соответствующим уменьшением анодного напряжения. Высокое анодное напряжение способствует увеличению анодного тока. Поэтому понижение напряжения накала ламп всегда должно сопровождаться соответствующим снижением величины анодного напряжения и, следовательно, анодного тока.

Подобного рода саморазогрев оксидного катода может в иных случаях привести к тому, что лампа будет продолжать работать и при выключенном токе накала. Если анодный ток достаточно велик, то после выключения накала оксидный слой будет разогреваться проходящим через него анодным током и эмиссия катода не прекратится. Так, с выключенным накалом иногда могут работать, например, кенотроны. Но работа лампы в таких условиях бывает неустойчива: обычно либо анодный ток возрастает настолько, что оксидный слой испаряется, либо ток начинает уменьшаться, катод охлаждается и эмиссия прекращается.



## **ПРЕДОХРАНИТЕЛИ** *перегорают при включении*

Очень редко случается, что предохранитель в радиоприемнике или телевизоре перегорает во время работы. Обыкновенно предохранитель перегорает в момент включения. Вчера вы сами выключили свой приемник по окончании приема. Сегодня включаете его — не работает. Осмотр показывает, что перегорел предохранитель, следовательно это могло произойти только в момент включения.

**Чем же это объясняется?**

Нити накала ламп делаются из металла. Сопротивление металлов электрическому току при нагревании увеличивается. В этом легко убедиться. Чему, например, равно сопротивление нити накала лампы 6КЗ? Мы знаем, что напряжение ее накала равно 6,3 вольта, а ток — 0,3 ампера. Отсюда по закону Ома определяем сопротивление:

$$R = 6,3 : 0,3 = 21 \text{ ому.}$$

Вооружимся омметром и измерим сопротивление нити накала этой лампы, приложив его щупы к штырькам 2 и 7. Омметр покажет всего 4 ома.

Чему же верить — вычислению или измерению?

И тому и другому. Обе величины правильны.

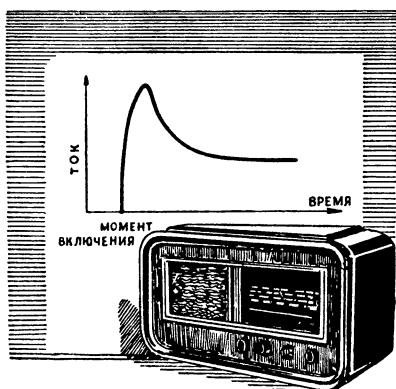
Омметр показал нам сопротивление холодной нити, а расчет мы производили применительно к нормальному режиму работы лампы, так как именно в этих условиях ток ее накала равен 0,3 ампера. Сопротивление холодной нити накала равно 4 омам, а «горячей» — 21 ому.

Мы можем проделать такой же опыт и с осветительной лампой. Стоваттная 127-вольтовая лампа имеет расчетное сопротивление 160 омов, а омметр при измерении сопротивления холодной нити покажет всего 13 омов — в 12 с лишним раз меньше расчетной величины.

Если бы сопротивление нити накала лампы 6КЗ при нагревании не увеличивалось, то ток ее накала равнялся бы не 0,3, а 1,5 ампера.

Этим и объясняется то, что предохранители перегорают при включении. В момент включения нити ламп не нагреты, поэтому через них течет очень сильный ток, в несколько раз превышающий нормальный ток накала. По мере разогрева нитей их сопротивление увеличивается и ток уменьшается. Совершенно очевидно, что ток будет наибольшим в момент включения, когда нити накала еще совсем не нагреты, и их сопротивление минимально. Поэтому в момент включения приемника, телевизора или усилителя наблюдается бросок тока, по величине в несколько раз превышающий ток, потребляемый в нормальном установившемся режиме.

Этот бросок тока и пережигает предохранитель, если он взят без должного запаса или если имевшийся запас оказался утраченным. На практике может наблюдаться и то и другое.



Может случиться, что запас прочности предохранителя невелик, т. е. ток, пережигающий предохранитель (ток плавления его проволочки), лишь немногим превышает нормальный бросок тока, получающийся при включении аппарата. В таком случае достаточно некоторого увеличения напряжения

сети относительно его номинальной величины, чтобы предохранитель в момент включения перегорел.

Бывает и так, что вначале предохранитель имел нужный запас прочности, но с течением времени те же причины, которые приводят к перегоранию нитей накала (см. стр. 53), способствовали образованию у проволочки предохранителя участков с меньшим диаметром. Эта проволочка не находится в вакууме; при нагревании она окисляется и ее диаметр уменьшается. В конце концов на каком-нибудь из участков проволочки диаметр настолько уменьшается, что она не выдерживает тока включения приемника и перегорает.

Это явление наблюдается тем чаще, чем больше в аппарате ламп и чем меньше их анодный ток. Особенно часто приходится встречаться с ним в телевизорах. В телевизорах общее число ламп велико, но лампы эти малой мощности, потребляют небольшой анодный ток, поэтому ток включения телевизора значительно превышает его рабочий ток, величина которого определяется нормальным током накала и анодным током.

Таким образом, предохранители чаще всего перегорают при включении аппарата. Но в некоторых случаях они могут перегорать и при его выключении. В момент выключения развиваются экстратоки, которые и пережигают предохранитель. В приемниках с полупроводниковыми триодами экстратоки часто выводят из строя и эти триоды, если против этого не приняты специальные меры.



## *Где скрыто сопротивление* **ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАМПЫ**

В каждом современном радиоприемнике или телевизоре работают электронные лампы. Каждая из них потребляет от источника питания анодный ток.

Чем определяется величина этого тока?

Вопрос как будто нетрудный. Величина тока в цепи равна величине подведенного к ней напряжения, деленной на величину сопротивления цепи. Если к электронной лампе подвести, допустим, сто вольт, приложив плюс к аноду, а минус к катоду, то через лампу потечет ток, величина которого определится сопротивлением лампы.

Но тут-то нас и подстерегают неожиданные трудности. В самом деле, о каком сопротивлении лампы может идти речь. Пространство между катодом и анодом лампы пусто, из него выкачан воздух. Пустота является великолепным изолятором: сопротивление пустоты равно бесконечности.

Это возражение звучит веско, но мы найдем, что ответить на него. Действительно, омметр, присоединенный к аноду и катоду лампы с ненакаленным катодом, покажет бесконечность. Ток, приводящий в движение стрелку омметра, не может пройти через пустоту. Но это не значит, что пустота — изолятор. Изолятором мы называем такую среду, в которой электрические заряды не могут перемещаться, в вакууме же они как раз движутся, не встречая никакого сопротивления. Наш опыт с омметром дал отрицательные результаты не потому, что электрические заряды не могли двигаться в пустоте, а потому что в этой пустоте не было зарядов, там нечему было двигаться. Сама же по себе пустота является не идеальным изолятором, а наоборот, идеальным проводником. Заряды, находящиеся в пустоте, движутся, не встречая никакого сопротивления. Надо только помочь зарядам проникнуть в пустоту с некоторой скоростью. Накаливая катод, мы это и делаем. Мы выталкиваем заряды —



в данном случае электроны — из катода в пустоту, а дальше они несутся, не испытывая сопротивления.

Пожалуй, нам удалось опровергнуть версию об изоляционных свойствах пустоты и доказать, что она представляет собой сверхпроводник, не имеющий сопротивления, но . . . от этого не стало легче. Если пустота — изолятор, то ток через лампу не потечет; если же пустота не оказывает движению зарядов никакого сопротивления, то при присоединении к лампе батареи в цепи должен установиться ток, величина которого определится только электродвижущей силой батареи и ее внутренним сопротивлением. Другими словами, при присоединении к батарее лампы через нее должен течь ток, равный по величине току короткого замыкания батареи. Если наша батарея — аккумулятор, то в цепи может возникнуть ток в сотни и тысячи ампер.

Но мы знаем, что этого не происходит. Анодный ток приемно-усилительных ламп измеряется миллиамперами или десятками миллиампер. Это значит, что в лампе есть не учитываемое нами сопротивление, величиной в тысячи или десятки тысяч омов.

Что же это за сопротивление и где оно скрывается?

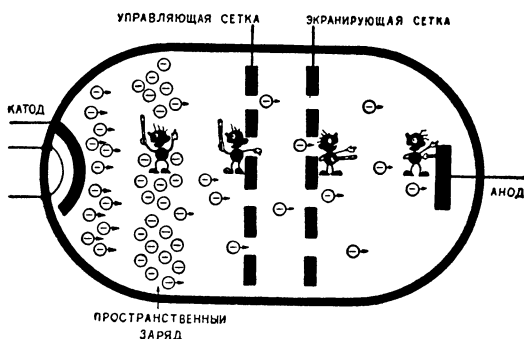
Надо сказать прямо: никакого сопротивления в обычном физическом смысле, т. е. никакого «омического» сопротивления у лампы нет. Электрическим сопротивлением называется сопротивление среды движению электрических зарядов. Такого сопротивления у лампы нет (мы, разумеется, пренебрегаем сопротивлением штырьков, вводных проводничков, катода и материала анода). Причины, определяющие величину тока в цепи лампы, не имеют ничего общего с тем сопротивлением, которое определяет ток в формуле Ома для токов в проводниках.

Величина тока определяется, как известно, количеством электронов, проходящих в течение секунды через поперечное сечение проводника. В металлических и иных проводниках в образовании тока принимают участие все имеющиеся в них электроны (или другие электрические заряды). Ведь электрический ток возникает в проводнике в результате появления электрического поля, которое воздействует на все без исключения электрические заряды. Поэтому величина тока зависит только от скорости движения электронов: чем интенсивнее поле, (определяемое числом вольт на сантиметр), тем быстрее будут дви-

гаться электроны и тем, следовательно, больше их будет проходить в течение секунды через поперечное сечение проводника. Совершенно естественно, что при этом через любое сечение цепи проходит одинаковое количество электронов — ток одинаков в любом участке цепи.

Иначе обстоит дело в цепи электронной лампы. Здесь есть участок—грань между катодом и внутриламповым пространством, через которую может пройти только такое количество электронов, которое определяется эмиссионными способностями катода и его температурой. Если в образовании анодного тока принимают участие все излучаемые катодом электроны, то дальнейшее увеличение анодного тока невозможно. Можно повышать анодное напряжение, но анодный ток от этого не увеличится. С точки зрения закона Ома нам придется констатировать, что вместе с увеличением напряжения возрастает и сопротивление лампы, вследствие чего величина тока остается постоянной. Но это будет ложное представление, поскольку величина тока в цепи лампы определяется в данном случае не ее сопротивлением, а эмиссией катода.

В действительных условиях работы лампы вся эмиссия катода не используется; фактический анодный ток



лампы бывает меньше тока эмиссии катода. Излучаемые катодом электроны образуют электронное «облачко», имеющее отрицательный заряд и отталкивающее обратно к катоду те из вылетающих из него электронов, которые обладают малой скоростью. Величина анодного тока зависит от интенсивности этого пространственного заряда, она зависит от знака и величины напряжения на управ-

ляющей сетке и других сетках лампы. Увеличивая отрицательное напряжение на управляющей сетке, мы тем самым уменьшаем анодный ток. Внешне это воспринимается как увеличение сопротивления лампы.

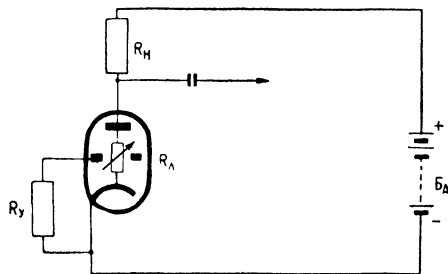
Таким образом, у электронной лампы нет сопротивления в обычном понимании этого слова, сопротивления, обусловливаемого физическими свойствами проводника электрического тока. Наибольшая величина анодного тока определяется эмиссией катода, а в пределах, ограниченных эмиссией катода, величина тока определяется рядом причин: конструкцией лампы, напряжением на ее электродах и пр.



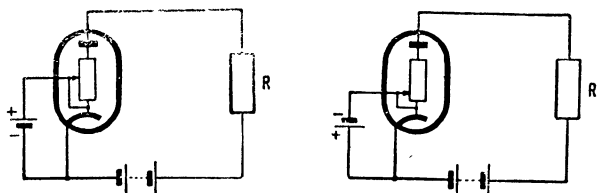
Для объяснения усилительных свойств электронной лампы принято пользоваться сравнением с реле — устройством, которое приводится в действие при затратах малой мощности, а само управляет цепями, в которых действует много большей мощности.

Однако сравнение лампы с реле неудачно, так как работу лампы нельзя свести к действиям простого реле, включающего и выключающего цепь, и — что главное — оно никак не способствует пониманию смысла и значения ламповых параметров.

Значительно понятнее и гораздо ближе к действительности сравнение электронной лампы с переменным сопротивлением.



Электрическая цепь усилительного каскада состоит из источника тока, лампы и нагрузочного сопротивления (источник питания накала лампы, как не имеющий принципиального значения,



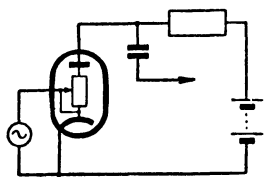
можно не принимать во внимание). Величина тока, который устанавливается в этой цепи, зависит от напряжения источника тока, сопротивления нагрузки и сопротивления лампы.

Это сопротивление лампы, как уже было показано (см. стр. 59), — особенное. Его физический смысл не тот же, что у проводниковых или полупроводниковых сопротивлений. Сопротивление лампы определяется рядом условий, от которых зависит величина тока, текущего через лампу при данном подведенном к ней напряжении. Кроме того, сопротивление это — переменное. Его величина в рабочих условиях зависит от потенциала управляющей сетки. Увеличился отрицательный потенциал сетки — увеличилось и сопротивление лампы. Текущий через нее ток в соответствии с этим уменьшился. Если отрицательный потенциал сетки стал меньше или сделался положительным, то вместе с этим уменьшится и сопротивление лампы, вследствие чего текущий через нее ток увеличится.

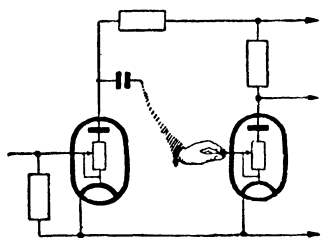
Переменное сопротивление — лампа обладает двумя замечательными свойствами. Во-первых, на изменение потенциала ее сетки в большинстве случаев не нужно затрачивать мощность. Присоединенный к сетке лампы источник переменного напряжения создает в цепи сетки только токи ее заряда и разряда. Эти токи микроскопически малы, и с ними можно не считаться. Во-вторых, изменения сопротивления лампы на всех частотах, кроме разве сверхвысоких, мгновенно следуют за изменениями потенциала ее сетки. Лампа представляет собой переменное сопротивление, изменение величины которого происходит мгновенно и без затраты мощности. Управляющая сетка лампы действует как движок переменного сопротивления.

Обратимся к простейшей схеме усилительного каскада. Лампа, сопротивление нагрузки и источник анодного напряжения соединены последовательно. Напряжение

источника распределится в цепи согласно закону Ома пропорционально сопротивлениям ее отдельных участков. Часть напряжения будет падать на сопротивлении нагрузки, часть — на сопротивлении лампы. При изменении потенциала сетки сопротивление лампы изменится и в цепи произойдет соответственное перераспределение напряжений. Если, например, потенциал сетки вместо отрицательного стал положительным, то сопротивление лампы станет меньше. В соответствии с этим падение напряжения на анодной нагрузке возрастет, а на сопротивлении лампы уменьшится. Но сумма этих падений напряжения в каждый момент остается равной напряжению анодной батареи или выпрямителя.



При подаче на сетку лампы переменного напряжения, изменяющегося по любому закону, например по закону синусоиды, будет происходить точно такое же изменение сопротивления лампы, а следовательно, и падения напряжения на нем. В силу этого в точности по этому же закону будет меняться падение напряжения и на сопротивлении анодной нагрузки. Изменяющееся напряжение на аноде будет, как в зеркале, отражать все изменения напряжения на сетке лампы. Именно, как в зеркале: когда падение напряжения на лампе увеличивается, падение напряжения на сопротивлении анодной нагрузки на столько же уменьшается, и наоборот.



Усилительное действие лампы зависит от того, насколько сильно изменяется ее сопротивление при повышении или понижении потенциала сетки на какую-нибудь определенную величину, т. е. насколько сильно выражено управляющее действие ее сетки. Чем сильнее будут изменения величины сопротивления лампы при изменении потенциала сетки, тем значительнее будут изменения напряжения на нагрузке, т. е. тем больше будет усиливать схема.

Чем определяется величина изменения сопротивления лампы? Совершенно очевидно, что она определяется тем, насколько увеличивается или уменьшается ток, текущий через лампу, при изменении потенциала сетки на 1 вольт. Этот параметр лампы носит название крутизны характеристики или просто крутизны ( $S$ ). Чем больше крутизна лампы, тем сильнее изменяется ее сопротивление под воздействием потенциала сетки и тем большее усиление она может дать. Именно поэтому крутизна является важнейшим параметром лампы.

Таким образом, очень удобно рассматривать усилительную электронную лампу как переменное сопротивление. Чем больше изменяется сопротивление лампы при изменении потенциала сетки, тем выше усилительные способности лампы. Усилительные способности лампы характеризуются главным образом ее крутизной.



Сопротивление электронной лампы, рассмотренное на стр. 59, определяет величину того тока, который устанавливается в анодной цепи лампы в статическом режиме ее работы, т. е. при неизменных напряжениях на всех ее электродах. Его часто называют сопротивлением постоянному току.

Однако сопротивление постоянному току не входит в число параметров лампы — ее важнейших показателей. В списке параметров всегда фигурирует внутреннее сопротивление лампы  $R_i$ .

Что же такое внутреннее сопротивление лампы и чем оно отличается от ее сопротивления постоянному току?

Во всякой электрической цепи усиление или ослабление тока по существу представляет собой увеличение или уменьшение числа электронов или каких-либо других электрических зарядов, проходящих в течение секунды через поперечное сечение проводника. В обычных проводниках в создании тока участвуют все заряды, и вели-

чина тока зависит лишь от скорости их движения, причем скорость этого движения пропорциональна напряжению: чем больше напряжение, тем выше скорость и тем, следовательно, больше ток. Другими словами, между величиной напряжения и тока существует линейная зависимость.

Не так обстоит дело в электронной лампе. С увеличением анодного напряжения возрастает не только скорость движения электронов в пространстве между катодом и анодом, но и число электронов. Анодный ток лампы образуется теми электронами, которые положительно заряженный анод «высасывает» из электронного облачка, окружающего катод. При каждом данном значении анодного напряжения и потенциала управляющей сетки (и всех остальных электродов) анодный ток образуется электронами, имеющими скорость, превышающую некоторую определенную величину. Электроны с меньшими скоростями отбрасываются обратно к катоду. Если анодное напряжение увеличивается или если повышается потенциал управляющей сетки, то участвовать в образовании анодного тока могут уже электроны, обладающие меньшими скоростями.

Таким образом, как увеличение анодного напряжения, так и повышение потенциала управляющей сетки сопровождаются не только увеличением скорости движения электронов, образующих анодный ток, но и увеличением числа электронов, участвующих в образовании этого тока. При уменьшении анодного напряжения или потенциала сетки не только снижается скорость движения электронов, но и число электронов. Поэтому зависимость между анодным током и анодным напряжением не подобна зависимости между током и напряжением в проводниках. Прямой пропорциональности между анодным напряжением и анодным током нет. Системы с такими свойствами называются нелинейными.

Эта особенность электронных ламп приводит к тому, что их сопротивление постоянному и переменному току неодинаково. Так как лампы используются для работы с переменными токами, то для всех расчетов надо знать величину сопротивления лампы именно переменному току, показывающую, насколько изменяется анодный ток лампы при изменении анодного напряжения. На некотором участке анодной характеристики лампы изменение

анодного тока прямо пропорционально изменению анодного напряжения.

Это отношение изменения анодного напряжения к изменению анодного тока и носит название внутреннего сопротивления лампы, обозначаемого символом  $R_i$ .



## РАЗМЕРЫ электронных ламп и их ПАРАМЕТРЫ

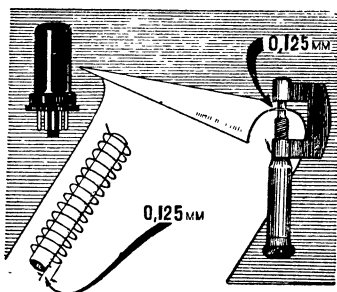
Крутизна характеристики является важнейшим параметром электронных ламп. Особенно важно большое значение крутизны у ламп, предназначенных для работы на ультравысоких частотах.

Способы достижения большой крутизны хорошо известны. Основным из них является увеличение эмиссии катода и приближение управляющей сетки к катоду.

До какого же предела в этом направлении можно пойти? Это можно очень хорошо показать на примере телевизионного пентода 6Ж4. У этой лампы большой катод, имеющий повышенную мощность накала (в 1,5 раза больше обычной), а сетка находится от катода на расстоянии всего лишь 0,125 мм.

0,125 мм — это толщина листа писчей бумаги. На таком расстоянии находится сетка от катода, раскаленного до 800—900°C. Достаточно малейшей деформации сетки, чтобы между ней и катодом произошло короткое замыкание. Изготовление таких ламп требует высокой точности производства и более трудно, чем изготовление обычных ламп.

Однако увеличение крутизны лампы путем применения больших катодов и приближения сетки к катоду приводит к возрастанию





емкости управляющая сетки — катод, т. е. входной емкости лампы, что весьма нежелательно на ультравысоких частотах, так как приводит к уменьшению усиления. «Выручает» тут только то, что при уменьшении расстояния между катодом и сеткой крутизна возрастает в большей степени, чем емкость. Между этими величинами существует интересная зависимость: емкость между сеткой и катодом возрастает пропорционально уменьшению расстояния между ними, а крутизна характеристики растет пропорционально квадрату той же величины. Если емкость увеличится, скажем, в 2 раза, то одновременно с этим крутизна возрастет в 4 раза и в результате соотношение между крутизной и емкостью окажется более выгодным.

Эта благоприятная для крутизны зависимость подсказала пути дальнейшего развития ламп — уменьшение их размеров.

Вот, например, лампа для ультравысоких частот — «жолудь». У этой лампы катод совершенно не отвечает указанным выше требованиям. Наоборот, его размеры, а следовательно, и активная поверхность так малы, что для его накала требуется вдвое меньшая мощность, чем у обычных ламп. Крутизна же у ламп-жолудей такого же порядка, как у обычных. А между тем они хорошо работают на высоких частотах вплоть до нескольких мегагерц.

У ламп-жолудей геометрические размеры чрезвычайно малы, благодаря чему и межэлектродные емкости их весьма невелики. При этом вследствие малого расстояния между сеткой и катодом удается получить крутизну такого же порядка, как у обычных ламп. Соотношение между крутизной и емкостью оказывается при подобной конструкции очень выгодным.

Это легко подтвердить расчетами. Предположим, что у обычной лампы конструкция изменена: ее электроды укорочены и сближены таким образом, что расстояние между ними уменьшилось в 2 раза, а поверхность электродов — в 4 раза. Как скажется это на крутизне характеристики и емкости сетка—катод?

В результате уменьшения поверхности в 4 раза и расстояния между электродами в 2 раза емкость уменьшится в 2 раза. Иначе обстоит дело с крутизной. Уменьшение активной поверхности катода в 4 раза повлечет за

собой четырехкратное уменьшение крутизны, так как эмиссия катода пропорциональна его активной поверхности. Уменьшение же в 2 раза расстояния между сеткой и катодом приведет к увеличению крутизны тоже в 4 раза, и в результате крутизна не изменится, она останется такой же, какая была до уменьшения электродов. Следовательно, уменьшение электродов привело к снижению емкости при неизменной величине крутизны: соотношение между емкостью и крутизной стало более выгодным — оно увеличилось вдвое.

В этом отношении уменьшение размеров ламп дает хорошие результаты. Поэтому и «пальчиковые» лампы относительно лучше обычных, т. е. наших «старых» стеклянных и металлических ламп с октальным цоколем. Геометрические размеры «пальчиковых» ламп уменьшены; кроме того, у них, как и у ламп-жолудей, приняты меры для уменьшения емкости между штырьками. В результате у таких «пальчиковых» ламп, как 6Ж1П и 6Ж3П, удалось получить хорошее соотношение между емкостью и крутизной, что позволяет эффективно использовать их для работы на ультравысоких частотах.



Как работает усилительный каскад с электронной лампой?

Общая схема его работы проста. К сетке лампы подводится переменное напряжение. В соответствии с изменениями напряжения изменяется величина анодного тока. Этот ток, проходя по сопротивлению анодной нагрузки, создает на нем переменное падение напряжения, которое и является выходным напряжением каскада.

Картина будет действительно такой лишь при условии, что при неизменных напряжениях на электродах анодный ток остается строго постоянным.

Так ли это в действительности? Можно ли считать анодный ток строго постоянным?

К сожалению, в действительности анодный ток лампы при неизменном напряжении на сетке, аноде и всех других электродах не сохраняет полного постоянства. Величина анодного тока в конечном счете зависит от эмиссии катода — числа электронов, излучаемых катодом и достигающих анода в единицу времени, а эмиссия катода подвержена известным колебаниям. В одинаковые отрезки времени катод излучает не строго одинаковое число электронов. Разница в количестве излучаемых электронов ничтожна, но тем не менее она существует и в соответствии с этим анодный ток претерпевает небольшие изменения хаотического характера, приводящие к появлению на сопротивлении анодной нагрузки некоторого переменного напряжения.

Поток электронов, создающих анодный ток, не имеет такой однородной структуры, как, например, струя воды. Его скорее можно уподобить струе дробы, вытекающей, скажем, из какого-то сосуда; при этом число дробин, выпадающих в разные моменты времени, неодинаково. Эта аналогия, а также то, что переменное напряжение, создаваемое на анодной нагрузке лампы, прослушивается в громкоговорителе или телефоне в виде шума, по своему характеру напоминающего шум сыплющейся дробы, дали основание назвать это явление «дробовым эффектом».

Шум, порождаемый «дробовым эффектом» в одном каскаде, почти не заметен, но если после шумящего каскада имеется еще несколько усилительных каскадов, то шум будет ими усилен и может достигнуть такой величины, с какой нельзя не считаться. Чем больше электродов у лампы, тем больше шумов она создает. Меньше всего шумят триоды. Пентоды шумят примерно раза в 2—3 сильнее триодов. Больше всего шумят многосеточные преобразовательные и смесительные лампы. Эта особенность ламп различных типов очень невыгодна. Естественно, что в первых каскадах приемников и усилителей желательно применить наименее «шумливые» лампы, так как создаваемый ими шум усиливается всеми последующими каскадами. В этом отношении наиболее благополучны триоды — как раз те лампы, которые в первых каскадах не применяются.

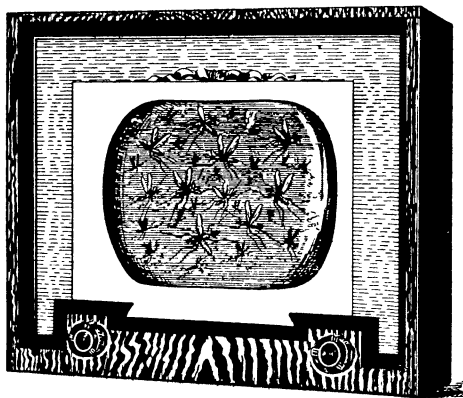
В первом каскаде супергетеродинных приемников в большинстве случаев работают преобразовательные лам-

пы, наиболее интенсивно шумящие. Порождаемый ими шум усиливается всеми лампами приемника и, как правило, весьма явственно прослушивается на выходе. Этот шум получил название «суперного шума». Это не значит, конечно, что в приемниках прямого усиления шумы отсутствуют. Если чувствительность высокая, то и в таком приемнике шумы будут достаточно велики.

Лучшей мерой борьбы с суперным шумом служит применение усилительного каскада до преобразователя, т. е. устройство в супергетеродинном приемнике усилителя высокой частоты. В усилителе высокой частоты используются пентоды, шумящие значительно меньше преобразовательных ламп. Усиленные этим каскадом сигналы приходят к сетке преобразовательной лампы с более выгодным соотношением напряжений сигнала и шума. Но способ этот дорог и применяется только в первоклассных приемниках.

Лампы шумят тем меньше, чем больше их крутизна характеристики при относительно малом анодном токе. Расчет показывает, например, что на входе радиовещательного приемника высокочастотный пентод 6КЗ создает напряжение шумов около 1 микровольта, а телевизионный пентод 6Ж4 — всего около 0,25 микровольта. Лампа 6А7 — преобразователь частоты — дает напряжение шумов около 5 микровольт, т. е. в 20 раз больше, чем 6Ж4. А это означает, что сигналы с напряжением до 5 микровольт будут совершенно заглушены шумами, да и сигналы с напряжением 10 микровольт будут слышны на фоне сильного шума.

Величина шумов связана также с полосой частот, пропускаемой приемником, а именно: действующее напряжение шумов пропорционально квадратному корню из полосы пропускания. Чем шире полоса, тем сильнее сказываются шумы, порождаемые



«дробовым эффектом». Поэтому в высококачественных приемниках, обладающих широкой полосой пропускания, шумы чувствуются относительно сильнее, чем у приемников, пропускающих более узкую полосу. В этом отношении в наименее выгодных условиях оказываются телевизионные приемники с полосой до 4 и более мегагерц. Они «шумят» в десятки раз сильнее радиовещательных приемников.

Телевизионные приемники дают возможность не только слушать шумы ламп, но и видеть их. Если всмотреться в экран работающего телевизора, то можно заметить на нем множество как бы роящихся мошек. На профессиональном жаргоне телевизионных работников эти точки носят название «мурашек». Эти «мурашки» в значительной степени представляют собой усиленные шумы первых ламп телевизора. Чем чувствительнее телевизор, тем больше «мурашек» на экране.



Поставленный в заголовке вопрос относится к радио-техническим приборам, точнее к их наиболее ответственной работающей детали — электронной лампе.

Что считать работой лампы и что ее отдыхом? Не будем, разумеется, считать, что лампа отдыхает, когда она выключена. Будем говорить только о включенной лампе и условимся, что она работает, когда отдает в анодную цепь полезную мощность, и отдыхает, когда работает холостую.

У включенной лампы основную нагрузку несут два электрода: катод, излучающий электроны, и анод, принимающий на себя кинетическую энергию бомбардирующих его электронов, составляющих анодный ток. На аноде эта кинетическая энергия переходит в тепловую —

анод разогревается. Величина эмиссии характеризует нагрузку катода, а мощность, рассеиваемая анодом, характеризует нагрузку, приходящуюся на его долю. Нагрузку других электродов можно не принимать во внимание. Управляющая сетка хотя и является самым активно работающим электродом, но в ее цепи в большинстве случаев не происходит затрат мощности, а в цепи остальных вспомогательных электродов ответвляется лишь незначительная часть анодного тока.

И катод и анод несут свою нагрузку как во время работы, так и в периоды отдыха. Когда же им приходится труднее? По аналогии с обычными машинами напрашивается ответ: труднее производить полезную работу, чем работать вхолостую. Значит, электроды лампы должны нести увеличенную нагрузку в те периоды, когда лампа совершает полезную работу.

В действительности дело обстоит не всегда так. Возьмем один из наиболее распространенных случаев использования электронной лампы — усилительный каскад, работающий в режиме класса А. Этот режим характеризуется, как известно, тем, что средняя величина анодного тока лампы остается одинаковой как при наличии колебаний на управляющей сетке, так и при отсутствии их. Это означает, что от источника питания — анодной батареи или выпрямителя — потребляется все время одинаковая мощность.

Но ведь анодная батарея или выпрямитель являются единственным «поставщиком» энергии в усилительном каскаде. Лампа сама энергии не производит, она лишь управляет энергией анодной батареи или, вернее, распределяет ее по различным цепям и их участкам. Если наш усилительный каскад является выходным, то нагрузкой в его анодной цепи служит громкоговоритель. При отсутствии сигнала громкоговоритель молчит — он не расходует энергии. Когда на сетку лампы поступит сигнал, громкоговоритель зазвучит: он начнет расходовать энергию, преобразовывая электрическую энергию в звуковую.

Откуда же берется эта энергия, которую громкоговоритель рассеивает в виде звуковых волн?

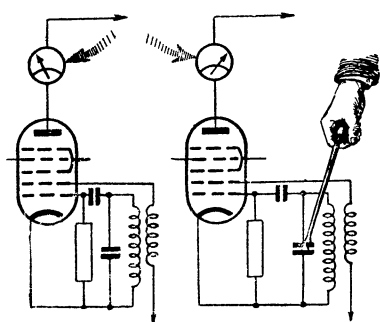
Напряжение источника питания распределяется в анодной цепи каскада между анодной нагрузкой и лампой пропорционально их сопротивлениям. При отсут-

ствии сигнала это распределение осуществится пропорционально сопротивлению нагрузки постоянному току и тому сопротивлению лампы, о котором было рассказано на стр. 59. Когда на сетку лампы поступит сигнал, в анодной нагрузке будет расходоваться больше энергии: громкоговоритель начнет излучать ее в виде звука. Поскольку общее количество энергии, отдаваемое анодной батареей, при этом не изменяется, то, следовательно, увеличение расхода энергии в анодной нагрузке может идти только за счет энергии, приходящейся на долю лампы.

Итак, у нас получилось, что в периоды «отдыха» лампы, работающей в усилительном каскаде класса А, в самой лампе расходуется больше мощности, чем во время «работы». При поступлении сигнала на сетку лампы происходит перераспределение расхода энергии в различных участках анодной цепи каскада, а именно: в анодной нагрузке начинает выделяться больше энергии, чем в период покоя, а на самой лампе — меньше.

Выходит, что отдыхать лампе труднее, чем работать.

Еще более резко выражена эта особенность у генераторных ламп, работающих с самовозбуждением. Обычно в этом случае лампа работает с автоматическим смещением, величина которого зависит от силы генерируемых колебаний. Режим работы лампы подбирается так, чтобы при наличии генерации анодный ток не превосходил допустимой для данной лампы величины. Но при



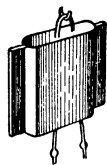
срыве колебаний смещение пропадает, анодный ток резко увеличивается, а мощность, выделяющаяся на аноде, возрастает настолько, что анод может раскалиться докрасна и даже расплавиться. Как видим, в некоторых случаях отдых может оказаться для лампы даже губительным.

Увеличение анодного тока при срыве колебаний происходит и у гетеродинов в супергетеродинных приемниках. На использовании этого явления основан даже простейший способ определения генерации гетеродина: если при замыкании контура гетеродина анодный ток увели-

чивается (о чем судят по миллиамперметру в анодной цепи), гетеродин генерирует. Следовательно, гетеродину тоже «легче» работать, чем отдыхать.

Подобных примеров можно привести очень много. Однако бывает и наоборот: лампа, отдыхая, действительно находится в облегченных условиях. Например, режим выходных ламп класса В характеризуется тем, что при отсутствии колебаний на управляющей сетке анодный ток очень мал, а при появлении колебаний средняя величина анодного тока возрастает, причем тем больше, чем сильнее колебания.

Мы до сих пор не упоминали о нагрузке, которую несет катод. Напряжение накала катода во время отдыха и во время работы не меняется, но эмиссия его, строго говоря, не остается постоянной. Анодный ток лампы проходит через катод и подогревает его. Когда анодный ток увеличивается, вместе с ним возрастает и нагрев катода и, значит, растет эмиссия. Поэтому, когда, например, при срыве колебаний генераторной лампы анодный ток увеличивается, это приводит к дополнительному нагреву катода и возрастанию эмиссии. Значит, и катоду часто приходится трудиться с большей интенсивностью в периоды покоя лампы, чем во время ее работы.



## *Почему греются* **АНОДЫ**

Аноды усилительных ламп во время работы сильно греются. У мощных усилительных ламп они нагреваются настолько, что раскаляются докрасна. У больших генераторных ламп необходимо специальное охлаждение анодов — водяное или воздушное, иначе они могут расплавиться.

А почему же все-таки аноды греются?

Ответ как будто не вызывает затруднений: нагрев производит электрический ток. Через лампу течет анодный ток и разогревает анод, все электроды, через которые он проходит, и вообще всю лампу. Прохождение электри-



ческого тока всегда сопровождается выделением тепла. Петербургский ученый Ленц и одновременно с ним англичанин Джоуль вывели известный в физике закон, гласящий, что при прохождении тока в цепи выделяется тепло в количестве

$$Q = 0,24 RI^2t \text{ калорий,}$$

где  $R$  — сопротивление цепи;

$I$  — величина тока;

$t$  — время.

Эта формула не вызывает сомнений, но в нее входит  $R$ . Где же в нашем случае это  $R$ ?

Действительно, для того чтобы часть энергии электрического тока превратилась в тепло, надо, чтобы ток встретил на своем пути сопротивление. Образующие электрический ток электроны, сталкиваясь с частицами вещества, отдают им свою энергию, увеличивая размах их колебаний или скорость, а это и есть то, что мы называем нагреванием.

Но в лампе нам не удастся найти сопротивление, пригодное для выделения в нем тепла. Пространство между катодом и анодом пусто, электроны пролетают его без столкновений, поэтому тепло в нем не выделяется — там нет  $R$  в его обычном физическом понимании (см. стр. 59). Остается анод. Анодный ток, безусловно, течет через анод, который представляет собой определенное электрическое сопротивление.

Но это сопротивление чрезвычайно мало и выделяющееся в нем тепло ничтожно. В этом легко убедиться на опыте. Анодный ток оконечной лампы радиоприемника, такой, например, как 6ПЗС, составляет около 50 миллиампер. Возьмите негодную лампу 6ПЗС, разбейте ее баллон, выньте анод и включите его в цепь, в которой будет поддерживаться ток 50 миллиампер. Вы увидите, что анод совершенно не нагреется.

Этот результат легко подтвердить вычислением. Сопротивление анода оконечной лампы равно примерно 0,01 ома, анодный ток — около 0,05 ампера. Из приведенной выше формулы Ленца—Джоуля следует, что в течение секунды при таком токе на аноде выделится 0,000006 калории. Надо в течение 46 часов поддерживать ток 50 миллиампер, чтобы на аноде выделилось такое

количество тепла, какое нужно для нагрева одного кубического сантиметра воды на один градус. Поэтому о сколько-нибудь заметном нагревании анода анодным током говорить не приходится.

А все-таки анод нагревается. И нагревается очень сильно. В чем же тут дело?

Электронная лампа — прибор не обычного порядка. Мы уже говорили о том, что сопротивление лампы не является сопротивлением в его общепринятом толковании. Точно так же обстоит дело и с нагреванием анода. Анод нагревается анодным током, но это не то обычное нагревание, какое производит ток, проходя по проводнику. Анод нагревается в результате резкого торможения электронов.

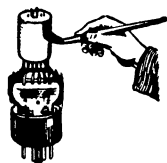
Электроны несутся в пространстве катод—анод со скоростью, измеряемой тысячами километров в секунду. Достигнув анода, они продолжают движение в нем, но уже со скоростью, измеряемой миллиметрами в секунду. На поверхности анода происходит резкое торможение электронов, электроны ударяются о частицы материала анода и отдают им свою энергию движения. Кинетическая энергия превращается в тепловую, сообщаясь аноду и нагревая его.

С таким нагревом ударами мы часто встречаемся в жизни. Возьмите молоток и сильно ударьте им несколько раз по куску металла — металл заметно нагреется. Так и электроны, в несметном количестве ударяясь об анод, нагревают его.

Разумеется, по сути дела в этом случае «механизм» нагревания такой же, как и при прохождении тока через сопротивление: электроны, сталкиваясь с частицами вещества, отдают им свою энергию. Но вследствие большей скорости электронов тепла выделится гораздо больше.



# Что дает **ЧЕРНЕНИЕ** анодов



В результате электронной бомбардировки аноды ламп нагреваются. Это опасно в двух отношениях. Во-первых, при слишком высокой температуре анода из металла может начать выделяться газ. Во-вторых, нагрев анода создает дополнительный нагрев катода. Для оксидных катодов, работающих при сравнительно низкой температуре, это может оказаться губительным, потому что оксидные катоды при перегреве теряют эмиссию.

Как можно уменьшить нагрев анода?

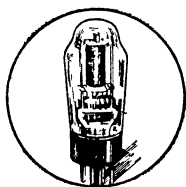
Самый простой способ — увеличить поверхность анода, с тем, чтобы на каждый его квадратный сантиметр приходилась меньшая мощность рассеяния. Но этот способ связан с увеличением общих размеров лампы, что удорожает ее, увеличивает размеры аппаратуры и затрудняет обращение с ней.

Чтобы понизить температуру анода, не увеличивая его размеров, надо найти возможность отводить выделяющееся на нем тепло. Поскольку анод находится в вакууме, осуществить отвод тепла можно только лучеиспусканием.

Из физики известно, что наилучшим лучеиспусканием обладают черные тела. Эта особенность и использована для охлаждения анодов. Опыты показали, что черненные аноды нагреваются значительно меньше нечерненных, выполненных из такого же материала.

Аноды приемно-усилительных ламп делаются из никеля. Существует несколько способов чернения никеля. Лучшие результаты в отношении лучеиспускания дает карбонизация — нанесение на поверхность никеля тонкого слоя углерода, осуществляемое путем отжига никеля в парах бензола и водорода.

Карбонизированный анод выдерживает в 4—5 раз большую мощность, чем некарбонизированный. Применение таких анодов позволило значительно уменьшить размеры оконечных ламп. У малогабаритных ламп, имеющих электроды малых размеров, приходится чернить аноды не только оконечных, но и всех вообще ламп.



## Электронная ЛАМПА и ТЕРМОС



Каждому радиолюбителю не раз приходилось обжигать руки о баллоны ламп, в особенности оконечных и кенотронов. Эти лампы нагреваются так, что шипят, как утюг, если к ним прикоснуться мокрым пальцем.

Понятно, почему нагреваются катоды. Их нагревает ток накала и дополнительно несколько подогревает анодный ток. Аноды ламп греются в результате электронной бомбардировки (см. стр. 75).

Но почему же греются баллоны? Правда, внутри баллона находятся раскаленный катод и очень горячий анод, но ведь из пространства, отделяющего их от баллона, выкачан воздух, там нет проводника тепла. Если в термос налить кипятка, то его наружные стенки остаются холодными. Объясняется это тем, что стенки у термоса двойные и из пространства между ними выкачан воздух. Почему же те свойства вакуума, которые содействуют теплоизоляции в термосе, вдруг перестают действовать в электронной лампе?

Нагрев баллонов электронных ламп происходит вследствие того, что катод и анод охлаждаются путем теплоизлучения, т. е. излучения инфракрасных лучей. Через вакуум эти лучи проходят совершенно беспрепятственно, но стекло баллона в значительной степени поглощает их и поэтому нагревается. Таковы свойства стекла: оно прозрачно для видимых световых волн, но много менее прозрачно для более длинных и более коротких волн — инфракрасных и ультрафиолетовых. Металл совсем не прозрачен для инфракрасных лучей, поэтому металлические баллоны нагреваются еще сильнее стеклянных.

Ну, а как же обстоит дело с термосом? В термосе тоже есть нагретое тело (кипяток), есть вакуум и стеклянный баллон.

«Противоречия» здесь только кажущиеся. Излучение инфракрасных лучей с повышением температуры резко возрастает (пропорционально пятой степени температу-

ры:  $t^5$ ). Стоградусный кипяток излучает во много раз меньше, чем катод, нагретый до  $800^\circ\text{C}$ , или анод, нагревающийся зачастую до нескольких сот градусов. Кроме того, в термосе приняты все меры для уменьшения излучения. Его внутренняя стенка белая, т. е. излучает слабо, тогда как катоды бывают темные, а аноды специально чернят для увеличения излучения. Внутренняя сторона внешней стенки баллона термоса покрыта зеркальным слоем, отражающим излучение содержимого термоса обратно. Поэтому внешняя стенка термоса почти совсем не нагревается и термос долго сохраняет тепло.



Если снять заднюю стенку работающего приемника, то нередко можно увидеть красивое зрелище — свечение анода, а иногда и баллона лампы голубым светом. По своему характеру оно напоминает красное свечение электродов неоновых ламп. У неоновых ламп электроды как бы покрыты «слоем» красного света толщиной 1—2 мм. Такой же светящийся «слой» образуется и у электродов оконечных ламп радиоприемников, только он кажется несколько более тонким, часто бывает несплошным, образуя пятна различной величины и формы, и окрашен в очень красивый голубой цвет.

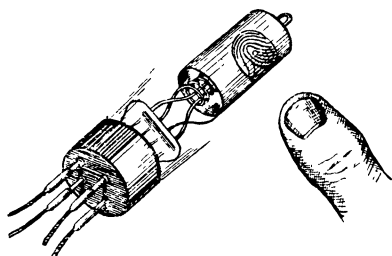
Светящийся «слой» нестабилен. Он пульсирует в такт со звуками радиопередачи.

Среди радиолюбителей и радиослушателей широко распространено убеждение, что это свечение обусловлено наличием в баллоне лампы газа. Поэтому свечение считают признаком брака лампы.

На самом деле такое свечение объясняется не присутствием в лампе остатков газа, а люминесценцией, т. е. тем же физическим явлением, которое вызывает свечение экрана электроннолучевых трубок, оптического индикатора надстройки и т. п. Одинакова и причина возникновения люминесценции — бомбардировка потока-

ми электронов. Электроны, с силой ударяясь о молекулы люминесцирующего вещества, приводят их в «возбужденное» состояние, которое выражается в том, что один из электронов атома перескакивает со своей орбиты (оболочки) на другую, характеризующуюся большим энергетическим уровнем. Возвращаясь на свою орбиту, электрон выделяет излишек энергии в виде излучения фотона, или светового кванта — мельчайшей «частицы» света.

Что же в данном случае является люминофором — светящимся веществом? Таким люминофором являются различные посторонние случайные вещества, покрывающие металлическую поверхность электродов. К ним относятся испарения оксидного слоя катода, осаждающиеся на электродах, а также вещества, перешедшие на электроды с пальцев людей, производивших сборку лампы. На языке вакуумщиков все эти вещества объединяются общим названием «грязь». Эта «грязь» и является случайным люминофором, приводящим к свечению электродов лампы.



Откуда же берутся электроны, «возбуждающие» люминофор? Чем объяснить то, что светится не только внутренняя поверхность анода, но часто и его внешняя поверхность, а иногда и внутренняя часть баллона?

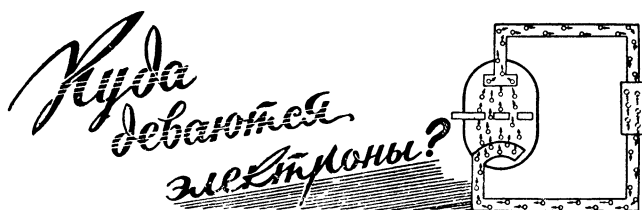
Внутренняя часть анода ламп светится под прямым воздействием анодного тока. Но следует учесть, что не все электроны, вылетающие из катода, достигают анода. Часть их пролетает мимо, с силой ударяется о стекло баллона и выбивает из него вторичные электроны (так называемый динаatronный эффект). Эти электроны притягиваются анодом, ударяются об его внешнюю поверхность и заставляют светиться покрывающий его случайный люминофор. Ударяясь о стекло, электроны заставляют светиться и его. Поток электронов пульсирует в соответствии с изменениями потенциала управляющей сетки и напряжения на аноде, происходящими в соответствии с модуляцией принимаемой передачи. Эта пульса-

ция физически представляет собой изменение скорости и числа электронов, составляющих анодный ток. Естественно, что вместе с этим изменяется и свечение, яркость которого находится в прямой зависимости от числа и скорости бомбардирующих люминофор электронов.

Легко объяснить и то, что свечение электродов наблюдается преимущественно у оконечных ламп. У этих ламп мощный катод, высокое анодное напряжение и большой анодный ток. Электроды оконечных ламп расположены дальше от катода, чем у малых приемно-усилительных ламп, что создает более благоприятные условия для проскакивания электронов мимо анода. Кроме того, именно оконечные лампы имеют обычно стеклянные баллоны, сквозь которые хорошо видно свечение.

Таким образом, хотя свечение электродов ламп и нельзя назвать нормальным явлением, поскольку оно объясняется загрязнением электродов и баллона посторонними веществами, но его нельзя считать и существенным недостатком, ухудшающим работу лампы и предвещающим ее близкую порчу.

Но это не значит, что в лампах не может быть газа. Иногда «газовые» лампы действительно попадают. Но в них светится не поверхность электродов или некоторые части баллона, а все внутреннее пространство лампы. Такие лампы дают сильно искаженный прием и обычно весьма быстро выходят из строя.



Электроны, движущиеся в проводнике и образующие своим движением электрический ток, имеют (см. стр. 14) очень небольшую среднюю скорость. При таких напряжениях, какие применяются в радиоаппаратуре, скорость движения электронов измеряется миллиметрами в секунду. Столь малая скорость объясняется трудностями,

какие электроны, естественно, встречают при своем движении в толще проводника, заполненной неисчислимым количеством молекул.

Зато в вакууме электронной лампы — в пространстве между ее катодом и анодом — электронам открывается свободный путь. В современных радиолампах разрежение достигает такой степени, что свободный пробег (пробег без встречи с молекулами газа) составляет несколько километров (см. стр. 49). Лишь очень немногие электроны встречаются здесь с молекулами газа, подавляющее же большинство их беспрепятственно достигает анода лампы (например, при длине свободного пробега 5 км и расстоянии от катода до анода радиолампы 5 мм лишь один электрон из миллиона может встретиться с молекулой газа). Поэтому скорость движения электронов в междуэлектродном пространстве лампы определяется лишь начальной скоростью их вылета из катода и ускоряющим действием анодного напряжения и напряжений на сетках. Фактически в междуэлектродном пространстве наших приемно-усилительных радиоламп электроны движутся со скоростью порядка 5 000—10 000 км в час.

При сопоставлении скорости движения электронов в проводах и в междуэлектродном пространстве лампы естественно возникает вопрос: куда же деваются электроны, с огромной скоростью пронесшиеся через пространство анод—катод лампы. Ведь электроны, достигнув анода, сразу замедляют свое движение. Они начинают двигаться медленно, а на анод все с той же громадной скоростью прибывают все новые тучи электронов. В результате электроны должны накапливаться на поверхности анода, потому что при малой скорости их движения в металле они не будут успевать стекать с него.

Возникает также другой вопрос: откуда берутся электроны, образующие анодный ток лампы? Медленно протекающие к катоду электроны не будут успевать пополнять поток электронов, уносящихся через вакуум радиолампы.

Как же разрешается эта «загадка» анодного тока радиолампы?

Конечно, приведенные рассуждения были неверны. Вспомним, чем определяется величина тока. Она определяется числом электронов, протекающих за секунду через поперечное сечение проводника. В любой точке



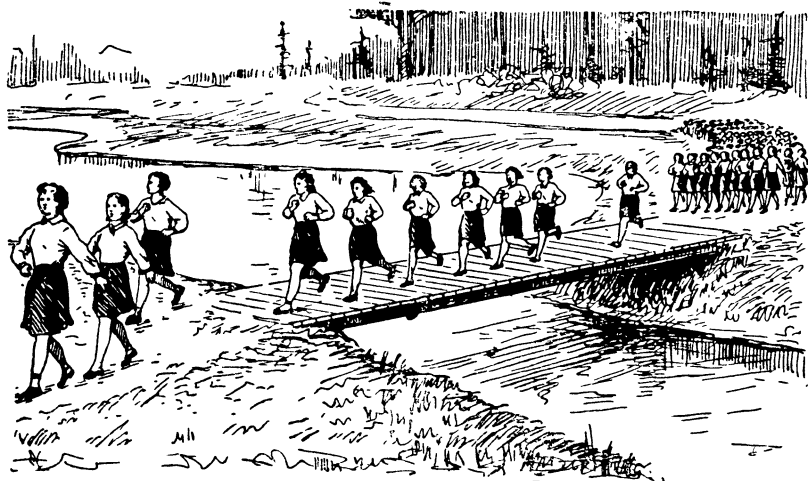


цепи электронной лампы (в любой точке соединительных проводов, катоде, аноде, источниках питания и пространстве катод—анод) через поперечное сечение протекает одинаковое число электронов — величина тока в любой точке цепи одинакова.

В чем же заключалась ошибочность наших рассуждений? Мы пришли к неправильному выводу, заключив, что чем больше скорость электронов, тем больше их будет проноситься за секунду через поперечное сечение проводника. Это заключение было ошибочно. Поясним это на примере.

Предположим, что по дороге движется колонна людей, идущих рядами по 10 человек в ряду. Чтобы ряды не мешали друг другу, между ними соблюдается интервал в 1 м. Наблюдатель, стоящий у дороги, видит, что через ее поперечное сечение за одну секунду проходят 10 человек — один ряд. Так как в течение секунды через поперечное сечение дороги должен пройти один ряд, а ряд от ряда отстоит на метр, то очевидно, что ряды должны двигаться со скоростью  $1 \text{ м в секунду} = 3\,600 \text{ м/час} = 3,6 \text{ км в час}$ .

На пути колонны есть узкий мост, через который может идти только один человек. Ясно, что ряд, дойдя до моста, должен будет остановиться и начать переход по одному человеку. Столь же очевидно, что для того чтобы



у моста не создалась пробка и люди, перешедшие мост, успевали снова построиться и продолжать движение прежним темпом, им придется по мосту бежать. Для простоты будем считать, что вся перестройка осуществляется мгновенно и что бегущие люди соблюдают прежний интервал в 1 м. В этом случае весь ряд, вытянувшийся в цепочку, должен будет перебежать мост за 1 секунду, а каждый из членов этого ряда будет иметь на пробег всего 0,1 секунды. Если длина моста 1 м, то для преодоления его за 0,1 секунды бегун должен будет развить скорость 36 км в час.

В результате на нашей дороге ничего не изменится. Через поперечное сечение дороги в любом месте, в том числе и на мосту, будут проходить 10 человек в секунду. Но скорость движения не будет одинакова. На дороге она будет составлять 3,6 км в час, а на мосту 36 км в час.

Точно так же обстоит дело и в электронной лампе. В любом месте анодной цепи лампы за одинаковый отрезок времени проходит одинаковое число электронов. Но «густота» их не одинакова. В проводах они медленно движутся «густой массой». В междуэлектродном пространстве лампы их «строй» становится более редким. Поэтому, чтобы наверстать потерю, образовавшуюся из-за разрежения их рядов, электронам приходится двигаться быстрее.



Всякий новый технический прибор получает при своем появлении на свет название. Часто это название дает конструктор или изобретатель. Первое название может остаться за прибором навсегда, но нередко случаи, когда первое название оказывается не совсем удачным и в дальнейшем заменяется другим, более точно характеризующим прибор.

Особенно часто замена названий происходит тогда, когда первоначальное название было дано по случайному сходству прибора с каким-нибудь другим современным ему прибором.

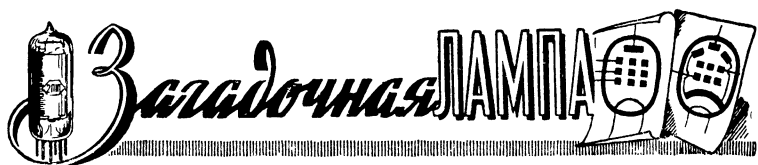
Не избежала такой смены названий и электронная лампа. Но в отличие от многих других приборов она сменила много названий, да, пожалуй, еще и сейчас ее называют по-разному.

Первые лампы носили у нас название «пустотных реле». Наряду с ним получили некоторое распространение названия «катодное реле», «электронное реле» и «электронный клапан». Имело хождение также название «катодная трубка». В начале 20-х годов начал применяться термин «лампа» в различных вариациях: «пустотная лампа», «катодная лампа», «электронная лампа», «усилительная лампа», «радиолампа».

Такой разноречивой названий во многом объясняется работой переводчиков, переводивших названия ламп с различных иностранных языков и не увязывавших их с уже распространенными названиями.

Из всех этих названий наиболее правильным и как будто окончательно утвердившимся является «электронная лампа», хотя наряду с ним часто встречается и «радиолампа».

Названия «реле» и «клапан» теперь совсем не применяются. Термин «трубка» сохранился лишь в сочетании «электроннолучевая трубка».



К какому типу относится лампа 2П1П, применяемая в выходных каскадах? Ответ на этот вопрос, казалось бы, можно легко найти в любом справочнике по лампам. Однако обращаться к справочникам бесполезно: в одних эта лампа называется лучевым тетродом, в других — пентодом. На схемах ее тоже изображают то с тремя сетками, то с двумя сетками и двумя фокусирующими электродами, как у лучевых тетродов.

Что же в действительности представляет собой эта лампа — пентод или лучевой тетрод?

Не то и не другое. Ее можно считать тетродом, но только не лучевым. Можно считать ее и пентодом, но без третьей сетки.

Что же это за странная лампа?

Как известно, особенностью пентодов является то, что в этих лампах вторичные электроны, выбиваемые из анода, вынуждены возвращаться на анод. Их направляет туда третья, так называемая защитная сетка, расположенная между экранирующей сеткой и анодом, соединенная с катодом и имеющая поэтому относительно анода отрицательный потенциал. Поле, создаваемое защитной сеткой, отталкивает вторичные электроны обратно к аноду даже тогда, когда потенциал анода значительно ниже потенциала экранирующей сетки.

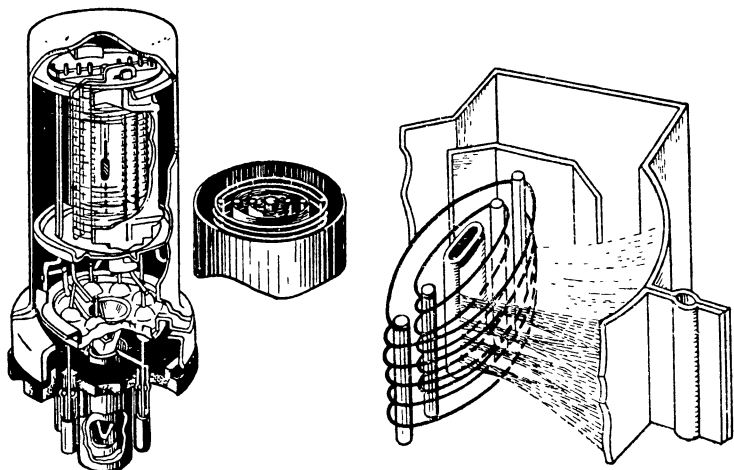
Однако такой же эффект может быть получен и без третьей сетки. Для этого нужно между анодом и экранирующей сеткой создать зону, имеющую отрицательный потенциал относительно анода, в виде, например, электронного облачка. Технически это вполне осуществимо.

Электроны, летящие от катода к аноду, миновав экранирующую сетку, попадают под воздействие двух сил: с одной стороны, их притягивает к себе анод, а с другой — их притягивает обратно экранирующая сетка, тоже заряженная положительно. Часть электронов, имеющих подходящую для этого скорость, будет заторможе-

на действием этих двух сил и «застрянет» между экранирующей сеткой и анодом. Из таких электронов и создается отрицательный пространственный заряд между этими электродами. Чем больше электронов летит от катода, тем плотнее будет облачко «застрявших» электронов. После образования такого облачка вторичные электроны, выбитые из анода, будут испытывать отталкивающее действие облачка, которое при известных условиях вполне способно заменить защитную сетку.

Так получается «пентод без третьей сетки».

Создание подобной защитной зоны возможно, однако, лишь при определенных соотношениях между размерами электродов, а расстояние между экранирующей сеткой и анодом в такой лампе должно быть значительно больше, чем у пентодов, иначе электроны не успеют



потерять скорость. Исследования показали, что хорошие результаты получаются, если расстояние между анодом и экранирующей сеткой раз в десять больше, чем между этой сеткой и катодом. Защитное действие пространственного заряда улучшается с увеличением плотности электронного потока. А этого можно добиться, сконцентрировав все излучаемые катодом электроны в узкие пучки — лучи. Основной особенностью «лучевых» ламп, в которых это осуществлено, является такая навивка экра-

нирующей сетки при которой шаг намотки и направление витков были бы у нее и у управляющей сетки одинаковы, и витки располагались друг против друга. Тогда промежутки между витками отрицательно заряженной управляющей сетки будут действовать подобно собирательным линзам и электроны сконцентрируются в тонкие пучки. Для увеличения плотности электронного потока его ограничивают с боков двумя специальными электродами — металлическими щитками, соединенными с катодом, которые не допускают рассеивания электронов.

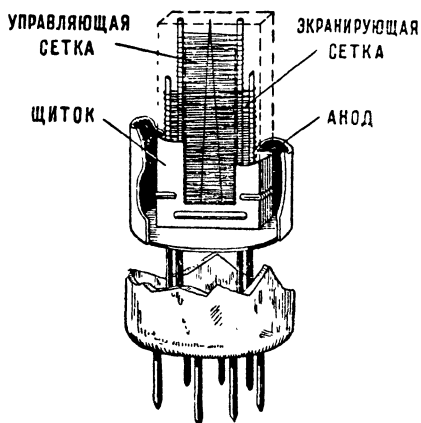
При такой конструкции резко снижается ток экранирующей сетки, так как витки управляющей сетки мешают электронам попадать на находящиеся за ними витки экранирующей сетки.

Этот принцип положен в основу конструкции широко известных лучевых тетродов 6П6С, 6ПЗС, 2П9М, 30П1С. Но в лампе 2П1П конструкция электродов иная, разделения электронного потока на отдельные лучи в ней нет, что объясняется трудностью изготовления и монтажа сеток столь миниатюрных ламп. Поэтому лампу 2П1П нельзя назвать лучевым тетродом.

Что же служит в лампе 2П1П защитой от возникновения динамического эффекта?

Функцию защиты выполняет пространственный заряд между экранирующей сеткой и анодом. Созданию этого заряда способствует металлический щиток, находящийся между экранирующей сеткой и анодом и соединенный с нитью накала. Пролетев сквозь вырез в этом щитке, электронный поток уплотняется, так как сам по себе щиток электроны не притягивает и они не рассеиваются по сторонам, а концентрируются в пучок, направляющийся к аноду.

Таким образом, у лампы 2П1П нет ни защитной сетки, характерной для пентодов, ни разделения анодного тока на отдельные лучи, характерного для лучевых те-



тродов. Но поскольку в конструкции лампы есть некоторые элементы, родственные лучевым тетрадам, ее иногда, хотя и не совсем правильно, относят к этим лампам. В действительности она является лампой иного типа и ее можно просто называть выходным тетродом.



1 мая 1953 г. Московский телевизионный центр впервые передавал со стадиона «Динамо» парад по случаю начала спортивного сезона. Парад открылся маршем длинной колонны физкультурников с оркестром впереди.

Передающие телевизионные камеры были расположены высоко на трибунах, поэтому москвичи могли видеть на экранах своих телевизоров почти всю колонну одновременно. При этом внимание многих привлекло одно обстоятельство — физкультурники шли красивыми стройными шеренгами, но . . . не в ногу. Первые ряды держали шаг четко и правильно, но чем дальше, тем ритм все более нарушался и на расстоянии около полутора-ста метров от головы колонны ряды физкультурников делали шаг правой ногой тогда как их товарищи в передних рядах делали в это время шаг левой.

Этот бросающийся в глаза разнорядный шаг объяснялся, конечно, не тем, что наши замечательные физкультурники не умеют держать ногу. Его причиной является... сравнительно малая скорость распространения звука в воздухе. Простой расчет подтвердит это.

Физкультурники шли со скоростью приблизительно 5 км в час. Длина шага в среднем равна 70 см, следовательно на 1 км приходится около 1 430 шагов. Расстояние в 1 км человек, идущий со скоростью 5 км/час,

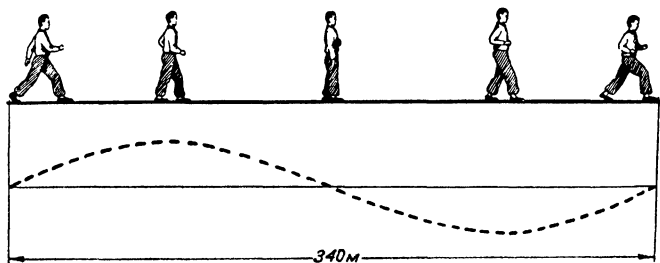
проходит за 12 мин. = 720 секунд, т. е. на один шаг приходится  $720 : 1\,430 \approx 0,5$  секунды.

Скорость распространения звука в воздухе при температуре порядка  $+15 \div +20^\circ\text{C}$  составляет 340 м в секунду, следовательно, за 0,5 секунды, т. е. за время одного шага, звук проходит 170 м. Звуки марша, определявшие ритм шага, будут достигать ряда, отстоящего от оркестра на расстояние 170 м, с запозданием как раз на время одного шага. Поэтому этот ряд, идя совершенно точно в соответствии с долетающими до него звуками оркестра, будет делать шаг правой ногой, в то время как первый ряд делает шаг левой ногой.

Промежуточные ряды будут запаздывать менее чем на шаг. Например, средний из этих промежуточных рядов, отстоящий на 85 м от оркестра (а также на 255, 425 м и т. д.), будет запаздывать на полшага.

Если наблюдать длинную колонну, идущую с оркестром впереди и точно держащую ногу в соответствии со слышимым ритмом игры оркестра, то по движениям рук и ног идущих можно «видеть» распространение звуковой волны.

Сравнительной медленностью распространения звука в воздухе объясняется и тот, уже не раз отмечавшийся в литературе факт, что если бы радиослушатели, скажем, Владивостока, принимали по радио концерт, транслируемый из московского театра, то они фактически слышали бы его раньше сидящих в театре москвичей (мы разумеется, не принимаем во внимание поясную разницу во времени). Действительно, радиоволны преодолевают расстояние в 10 000 км, разделяющее Москву и Владивосток, за 0,03 сек., а звук пролетит за этот промежуток времени всего лишь около 10 м. Зрители, сидящие в театральном зале дальше чем в 10 м от сцены (а таких в





театре — большинство), услышат звуки со сцены позже владивостокских радиослушателей.

Скорость распространения звука в воздухе зависит от температуры. При повышении температуры на  $1^{\circ}\text{C}$  скорость звука увеличивается примерно на  $0,6 \text{ м}$  в секунду.

Следует отметить, что так называемые взрывные волны, образующиеся при очень сильных сотрясениях воздуха, распространяются в несколько раз, а в некоторых случаях даже в десятки раз быстрее звука. Поэтому распространенный способ определения дальности удара молнии путем умножения числа секунд, прошедших между блеском молнии и донесшимися раскатами грома, на скорость распространения звука — неверен. Молния порождает не обычную звуковую волну, а взрывную, которая распространяется гораздо быстрее звуковой. Постепенно замедляя свое распространение, взрывная волна через некоторое время превращается в звуковую. Если после удара молнии мы слышим сильный трещащий звук, то это означает, что мы находимся в зоне взрывной волны. Типичные «раскаты грома» появляются лишь после превращения взрывной волны в звуковую.



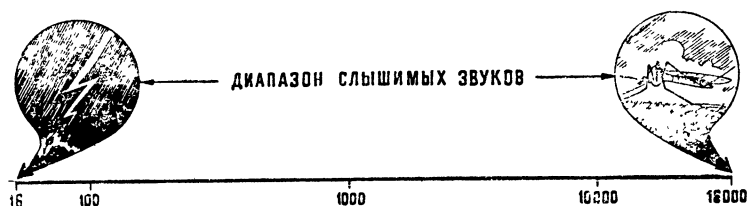
Электромагнитные колебания, используемые для радиопередач, можно характеризовать длиной волны или частотой. Пожалуй, большинству радиолюбителей и радиослушателей более привычны и понятны длины волн, а не частоты. Длина волн, например,  $1\,200$ ,  $300$ ,  $42 \text{ м}$  «понятнее», чем соответствующие им частоты:  $250$  килогерц,  $1\,000$  килогерц и  $7,145$  мегагерц.

Но звуковые колебания мы привыкли определять только частотой. Что говорит вам выражение «звуковая волна длиной два метра»? Низкий это тон или высокий? Сразу трудно даже сообразить, можем мы слышать звук с такой длиной волны или не можем.

Между тем звуковые колебания, так же как и электромагнитные, можно характеризовать как частотой, так и длиной волны. Для того чтобы узнать длину электромагнитной волны, надо скорость распространения радиоволн разделить на частоту.

Точно так же надо поступить и для определения длины звуковой волны.

Скорость распространения звуковых волн в воздухе при  $+15^{\circ}\text{C}$  и нормальном атмосферном давлении (1 013



миллибар = 760 мм ртутного столба) равна 340 м в секунду. Следовательно,

$$\text{длина волны в метрах} = \frac{340}{\text{частота в герцах}}.$$

Из этого выражения легко найти, что длине звуковой волны 2 м соответствует частота звука 170 герц, так как  $340 : 170 = 2$ . Значит, звуковую волну длиной 2 м мы слышать можем. 170 герц — довольно низкий тон, это примерно самый низкий тон, какой может воспроизвести женский голос.

Какой же длины звуковые волны мы слышим?

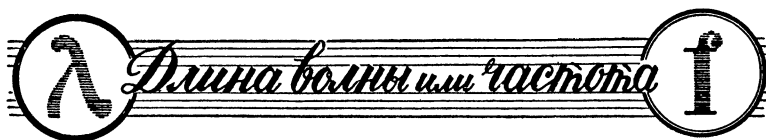
Частотный диапазон органов слуха у разных людей неодинаков, в особенности у его верхней границы. Не все слышат писк комара или летучей мыши, трескотню цикад, которым соответствуют частоты 12 000—16 000 герц. Иные могут наслаждаться полной тишиной южного парка, в то время как другим будет казаться, что парк наполнен трескотней цикад и писком мошкар. Но в среднем считается, что человек слышит частоты от 15—16 до 16 000 герц. Этим частотам соответствуют длины волн от 21 м до 2,1 см. Раскаты грома имеют длину волн около 21 м, а комариный писк — около 2 см.

Человеческий голос способен производить звуковые волны длиной примерно от 4 м до 28 см, считая по ос-

новным частотам. Однако звуки нашего голоса содержат много высших тонов (обертонов), придающих ему тембровую окраску, благодаря чему мы можем узнавать человека по голосу. Длина волны обертонов значительно короче основных частот. Общее представление о спектре человеческого голоса может дать следующая таблица.

Голос	Самый низкий тон		Самый высокий тон		Обертоны до	
	частота, (герцы)	длина волны, (сантиметры)	частота, (герцы)	длина волны, (сантиметры)	частота, (герцы)	длина волны, (сантиметры)
Мужской . . . .	80	425	500	68	8 000	4,2
Женский . . . .	170	200	1 200	28	10 000	3,4

Один из наших лучших радиоприемников «Мир» воспроизводит без большого ослабления звуковые волны от 5,67 м до 5,2 см (60—6 500 герц).

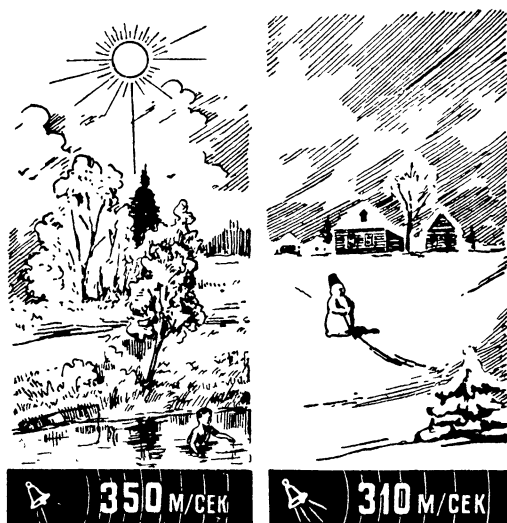


Мы привыкли характеризовать звуковые волны частотой, а не длиной. Объясняется это действительно только привычкой или же нас принуждают к этому какие-либо более веские обстоятельства?

Длина звуковой волны зависит от скорости распространения звука (см. предыдущий раздел), а эта скорость есть величина переменная. Скорость звука в воздухе зависит от ряда причин: температуры, атмосферного давления, влажности. Ниже приводится таблица, в которой указаны скорости распространения звуковых волн в сухом воздухе при нормальном атмосферном давлении, а также соответствующая этим скоростям длина звуковой волны.

Температура по 100-градусной шкале	Скорость распростра- нения звуковых волн (метры в секунду)	Длина звуковой волны для часто- ты 1000 герц (сантиметры)
-182	181,5	18,1
-45	305,6	30,6
-20	318	31,8
0	331	33,1
+15	340	34
+20	342,5	34,3
+100	387,3	38,7

Из этой таблицы видно, что скорость звука, а вместе с ней и длина звуковой волны довольно сильно зависят от температуры. В том интервале температур воздуха, какой фактически наблюдается в условиях нашего кли-



мата, скорость звука изменяется примерно на 15%. Так как на скорость звука оказывают влияние не только температура, но и степень влажности воздуха и величина атмосферного давления (с увеличением влажности и давления скорость звука увеличивается), фактически возможные изменения длины звуковых волн будут еще больше.

Из сказанного можно сделать вывод, что если бы мы захотели характеризовать звук длиной волны, то нам пришлось бы специально оговаривать температуру, влажность и другие условия, без чего нельзя было бы связать длину волны с каким-нибудь определенным тоном.

В большинстве твердых и жидких тел звук распространяется значительно быстрее, чем в воздухе. Ниже приводятся скорость звука и длина звуковых волн в разных средах.

Вещество	Скорость звуковых волн (метры в секунду)	Длина звуковой волны для частоты 1000 герц (сантиметры)
Вода . . . . .	1 540	154
Сталь . . . . .	5 200	520
Стекло . . . . .	5 300	530
Дерево (вдоль волока), в среднем	5 000	500
Свинец . . . . .	1 230	123
Резина . . . . .	50	5

Как видно из таблицы, в резине скорость звуковых волн примерно в 6 раз меньше, чем в воздухе при обычных температурах, а в стали, стекле и дереве она примерно в 15 раз больше.

При ознакомлении со всем сказанным о длине и частоте звуковых волн естественно напрашивается вопрос: не делаем ли мы ошибок и тогда, когда определяем электромагнитные колебания длиной волны, а не частотой?

Строго говоря, электромагнитные колебания тоже правильнее определять частотой, а не длиной волны. Нас спасает от ошибок лишь то, что скорость распространения электромагнитных колебаний в пустоте и воздухе практически одинакова и не зависит от температуры, давления и других причин. Но если бы нам пришлось иметь дело с распространением электромагнитных волн в другой среде, где скорость их отличается на заметную величину, то пользоваться длиной волны уже было бы неудобно, так как длины волн не соответствовали бы привычным нам частотам.

Приведем один пример. Скорость радиоволн в пустоте,

как известно, равна 300 000 км в секунду (точнее по последним данным 299 776 км в секунду), а в воде — в 9 раз меньше. Частоте 1 000 килогерц в пустоте и воздухе соответствует длина волны 300 м, а в воде — 33 м. Как видим, разница весьма существенная.



Очень немногие живые существа, населяющие нашу планету, могут похвастать тем, что они упоминаются в радиотехнической литературе. К ним принадлежит, например, летучая мышь — живой прообраз локационной станции. К ним относится и комар.

Чем же знаменит комар?

Комары прославились своим писком. Писк комара по высоте своего тона и силе звука лежит на пределе воспринимаемых человеческим ухом частот и уровней громкости. Поэтому комариный писк часто начинает или замыкает собой акустические таблицы и используется для популярных акустических сравнений и примеров.

Какими же цифрами характеризуется писк комара?

Звук, который мы называем комариным писком, порождается крыльями летящего комара. Его частота колеблется в пределах примерно 12—16 килогерц. Эти частоты предельны для человеческого уха. Их слышат не все. В детские годы человек слышит более высокие частоты, чем в зрелом возрасте. Поэтому даже в лучших, наиболее высококачественных акустических устройствах не добиваются воспроизведения звуковых частот выше 12—15 килогерц.

Мощность комариного писка составляет около  $5 \cdot 10^{-4}$  эргов. Так как  $1 \text{ эрг} = 10^{-7} \text{ ватт}$ , то излучаемая комаром звуковая мощность составляет :

$$5 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-7} = 5 \cdot 10^{-11} \text{ ватт.}$$

Эта мощность в 20 миллиардов раз меньше той, какая нужна, чтобы накаливать лампочку от карманного фонаря.

Но ведь наше ухо воспринимает далеко не всю звуковую энергию, излучаемую комаром, а лишь крайне малую ее часть. Эксперименты показывают, что человек с хорошим слухом слышит писк комара на расстоянии двух метров. Порождаемая комаром звуковая мощность распределяется при этом на сфере радиусом 2 м, площадь которой равна примерно  $5 \cdot 10^5 \text{ см}^2$ . Мощность комариного писка, приходящаяся на  $1 \text{ см}^2$  поверхности этой сферы ( $1 \text{ см}^2$  — площадь входных каналов ушей), составляет всего  $25 \cdot 10^{-16}$  ватт.

Это порог слышимости на таких частотах.

Интересно отметить, что масса воздуха, приходящая при этом в колебательное движение, равна примерно 44 кг.



Летучая мышь прославлена в научно-популярной литературе за свои локационные свойства. Установлено, что ее необычайная способность уверенно летать в полной темноте объясняется использованием локационных методов: летучая мышь издает ультразвуки и улавливает их отражение от препятствий. По времени, прошедшему между посылкой звука и его возвращением, она судит о расстоянии до препятствия, а при помощи направленного действия ушей определяет направление на препятствие. В этой способности летучих мышей можно найти интересную аналогию с одним из недавних завоеваний техники — радиолокацией. Эта аналогия становится полной при сравнении летучей мыши с морским ультразвуковым локатором — асдиком.

Каковы же «локационные» данные летучей мыши?

Летучая мышь использует для целей локации ультразвуки частотой около 50 килогерц, что соответствует длине волны (в воздухе) около 7 мм. Таким образом, применяя радиотехническую терминологию, можно сказать,

что локационная станция летучей мыши работает на волнах миллиметрового диапазона.

В радиотехнике посылаемые локационными станциями сигналы носят название зондирующих импульсов. Частота посылки «зондирующих импульсов» летучими мышами неодинакова. Неподвижная мышь посылает в секунду около десяти ультразвуковых «импульсов». В полете частота посылок увеличивается и зависит от расстояния до препятствия. В среднем во время полета летучая мышь посылает каждую секунду около 30 «импульсов», но, обнаружив на пути полета препятствие, она учащает посылку. На расстоянии около 1 м от препятствия она делает уже около 60 посылок в секунду.

Продолжительность каждой посылки составляет примерно 1 миллисекунду, интервалы между посылками — в среднем 30 миллисекунд. В зависимости от частоты посылок продолжительность интервалов изменяется.

Скорость звука в воздухе составляет около 340 м в секунду, т. е. расстояние в 1 м звук преодолевает за 3 миллисекунды. При расстоянии до препятствия 0,5 м отраженный импульс возвратится через 3 миллисекунды. Следовательно, летучая мышь обладает способностью оценивать отрезки времени в 2—3 миллисекунды.

Ультразвуковые колебания в воздухе затухают довольно быстро; вследствие этого летучая мышь имеет возможность обнаруживать препятствия на расстоянии не свыше 20—25 м.

Испытания показали, что летучие мыши воспринимают ультразвуки частотой до 70 килогерц.

Интересно, что у некоторых ночных насекомых, служащих пищей летучих мышей, выработалась чувствительность к облучению ультразвуками, помогающая им спастись от нападения. При облучении ультразвуками эти насекомые немедленно обращаются в стремительное бегство. В этом случае тоже можно усмотреть аналогию с тем радиооборудованием самолетов, кораблей и т. п., которое дает возможность обнаруживать облучение радиолокационными сигналами.

Летучая мышь — не единственный живой локатор. Известны и другие живые существа, излучающие звуковые импульсы и улавливающие их отражение. К ним относятся, например, рыбка нильский длиннорыл и южноамериканская птица гвачаро.



# ПОЧЕМУ мы понимаем ДРУГ ДРУГА



Этот вопрос не имеет никакого отношения к языку. Совершенно очевидно, что мы можем понять только то, что сказано на известном нам языке. Но для того, чтобы понять слово, произнесенное на любом языке, надо уловить составляющие его звуки. Если кто-нибудь произнес слово «миска», то слушающий должен совершенно ясно различить, что первым звуком в этом слове является «м», за ним следует «и» и т. д. Если вместо «и» мы услышим «а», то слово примет совсем другой смысл: получится не «миска», а «маска».

Из этого следует бесспорный вывод: чтобы понимать друг друга, мы должны различать звуки, из которых состояются слова. Мы должны безошибочно отличать звук «а» от звука «о» или «и» и пр.

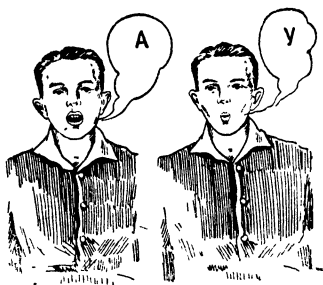
Каким же образом мы достигаем этого? Ведь человеческие голоса так различны по тембру и тону. Иной пророкочет звук «а» густым шаляпинским басом, а детский голосок пропищит его тонким дискантом, но и в раскатах баса и в тонком детском голосе мы уловим один и тот же звук «а». Мы распознаем звуки независимо от того, как они произнесены — громко или шопотом, мы узнаем их и в крике, и в пении.

Механизм этого понимания очень интересен. Оказывается, в каждом гласном звуке есть не менее чем два характерных тона, две, как их называют, форманты, которые и определяют его. Эти форманты должны обязательно присутствовать в звуке, иначе мы не сможем распознать его.

Чем же обеспечивается наличие в произносимом звуке необходимых формант? Оно обеспечивается определенной настройкой полости рта. При помощи языка, щек и соответствующего положения челюстей мы образуем в полости рта два резонирующих объема, которые и подчеркивают нужные форманты. Высота звука — его тон —

зависит от размера голосовой щели. Изменяя этот размер, мы можем произнести звук в высоком тоне или низком, но необходимые форманты при этом остаются неизменными.

Попробуйте, например, раскрыть рот, прижать кончик языка к нижним зубам и произнести звук «а». Вы проделаете это очень легко. Но попробуйте теперь, не изменяя формы рта и положения языка, произнести другой звук, например «и», «о», «у» или какой-нибудь другой. Из этой попытки ничего не выйдет. В лучшем случае вам удастся выдать из себя лишь неопределенное мычание, не похожее на звучание какой-либо буквы, но выдать даже такой звук будет физически трудно. Этот же опыт можно проделать с любым другим звуком. «Настройте» рот на звук «и» и попытайтесь, не изменяя этой настройки, произнести звук «а» или любой другой. Из этой попытки наверняка ничего не выйдет.



У нас выработалась автоматическая привычка настраивать свой рот нужным образом и мы не замечаем этого.

Радиоаппаратура должна без искажений донести нужные форманты звуков до нашего уха. Их искажение приводит к потере разборчивости.

Следует отметить, что наше восприятие формант звуков ухудшается с увеличением громкости относительно ее нормального, привычного уровня. Поэтому разборчивость очень громкой радиопередачи ниже разборчивости передачи, громкость которой приближается к естественной. Этим обстоятельством объясняется меньшая разборчивость передачи мощных уличных громкоговорителей по сравнению с работой комнатного приемника. Об этом же обстоятельстве очень полезно почаще вспоминать и любителям «оглушительной» работы приемников.

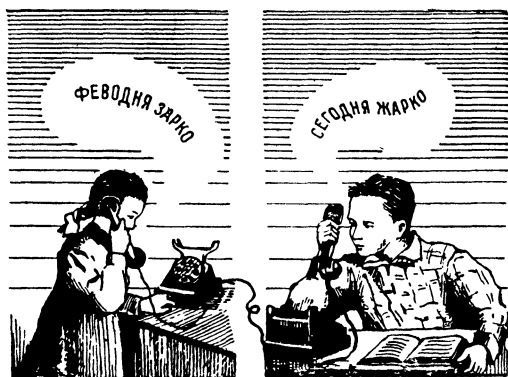
Это справедливо не только в отношении громкоговорителей. Когда человек кричит, нам тоже труднее понять его, чем когда он говорит с нормальной громкостью.



— Седор Феменович, скажите, любите ли вы вкусные фадовые яблоки?

В этой фразе нет опечаток. Она умышленно так написана. Не правда ли, она выглядит смешно? Но попробуйте передать ее по телефону и ваш собеседник будет уверен что он слышал: «Федор Семенович, скажите, любите ли вы вкусные садовые яблоки?»

Такая забавная неспособность заметить умышленные искажения происходит из-за особенностей нашей речи и слуха. Большинство согласных звуков содержит в своем составе много высоких звуковых частот, превышающих 5—6 килогерц. Различное распределение этих составных частот по спектру и приводит к тому, что мы отличаем один согласный звук от другого. В области же низших



частот состав звука некоторых согласных имеет много общего.

Обычный городской телефон пропускает полосу частот примерно 250—3 000 герц; более высокие частоты им не воспроизводятся. Поэтому при разговоре по телефону до нашего слуха доходит лишь часть звуковых колебаний, необходимых для распознавания того или иного

звука. Мы различаем ряд согласных только по смыслу передаваемого слова и по привычке воспринимать их как те согласные, которые должны стоять в этом слове.

Наибольшее сходство имеется между звуками «с» и «ф». Звук «с» содержит в своем составе частоты 500—8 000 герц. Этим, между прочим, объясняется, что по радио звук «с» передается хуже всех других: столь высокие частоты не воспроизводятся не только телефоном, но и большинством радиоприемников. Звук «ф» требует несколько меньшей полосы частот.

Трудно различить также буквы «ч» и «ш». При разговоре по телефону их можно взаимно переставлять и собеседник в большинстве случаев не заметит этого, как он не замечает замену звука «с» звуком «ф» и наоборот.

Ниже приводится таблица, характеризующая состав звука для разных согласных.

Звук	Число колебаний в секунду		Звук	Число колебаний в секунду		Звук	Число колебаний в секунду	
	нижнее	верхнее		нижнее	верхнее		нижнее	верхнее
б	91	2 900	к	1 250	3 900	с	500	8 000
в	100	3 400	л	228	1 932	т	900	4 000
г	90	3 400	м	271	2 579	ф	550	6 400
д	90	3 700	н	203	2 169	х	2 000	4 000
ж	80	5 200	п	950	3 600	ч	500	4 800
з	90	7 000	р	20	4 846	ш	450	4 600

У гласных звуков высшие частоты, характерные для того или иного звука, ограничиваются пределом 2 500—3 000 герц. Все более высокие частоты в составе этих звуков характеризуют уже не сам звук, а его тембр. Срезав высшие звуковые частоты в звуке «а» или «о», произносимом высоким женским голосом, мы все же услышим тот же звук «а» или «о» и будем слышать его вполне четко. Здесь уже замена одного звука другим, даже при узкой полосе пропускания телефона, невозможна.



Возьмем в руку открытку или какой-нибудь другой кусок плотной тонкой бумаги и проведем по ее краю зубьями расчески. Мы услышим тон некоторой определенной частоты. Если движение руки с расческой ускорить, то тон повысится. Замедление движения руки будет сопровождаться понижением тона.

Но замедлять движение руки с расческой можно только до определенного предела. Когда этот предел будет достигнут, мы перестанем различать тон. Он как бы распадается на отдельные щелчки или стуки, мы будем слышать не тон низкой частоты, а ряд отдельных стуков.

Наше ухо устроено так, что оно перестает разделять звуки в том случае, если интервал между ними меньше  $\frac{1}{15}$ — $\frac{1}{16}$  секунды. Два звука, разделенные интервалом меньше  $\frac{1}{16}$  секунды, сливаются в один. Если промежуток между звуками будет больше  $\frac{1}{15}$  секунды, то звуки «оторвутся» друг от друга.

В нашем примере с расческой тон при замедлении движения руки распадается на отдельные стуки, которые мы слышим потому, что они представляют собой негармонические колебания. Если бы мы производили опыт не с открыткой и расческой, а с телом, способным колебаться гармонически, например струной, то мы просто перестали бы слышать звук тогда, когда его тон понизился бы до 15—16 колебаний в секунду.

Интересно, что то же число ( $\frac{1}{16}$ ) определяет важный порог восприятия и у глаза. Оно характеризует инерционную способность глаза. Наш глаз сохраняет раздражение в течение примерно  $\frac{1}{16}$  секунды. Если видимое движение распадается на отдельные рывки, но интервалы между ними меньше  $\frac{1}{16}$  секунды, то мы не различаем рывков и движение кажется нам плавным. На этой особенности глаза основано кино. При передаче более 15—16 кадров в секунду мы уже не замечаем «пульсации» движущихся на экране изображений предметов и

людей; движение представляется нам плавным и непрерывным. Но если передать в секунду меньше 15 кадров, то человек на экране уже не будет двигаться плавно; мы начнем различать, что его движение состоит из отдельных рывков или скачков.



Мы соединили звуковой генератор с хорошим динамическим громкоговорителем и прислушиваемся к звучанию различных тонов. Мы можем увеличивать или уменьшать продолжительность звучания тонов, они как будто бы от этого не изменяются. Но так ли это на самом деле?

Нет, не так. В действительности есть определенный предел, дальше которого нельзя укорачивать продолжительность звучания. После этого предела мы перестанем слышать тон, а услышим стук или шум.

Этот предел неодинаков для различных частот. Каждой слышимой частоте соответствует определенное число периодов, которое должно воздействовать на наше ухо, чтобы мы услышали тон этой частоты. При меньшем числе периодов мы услышим не тон, а воспримем звук, лишенный какой-либо определенной тональности.

Меньше всего периодов нужно, чтобы различить тон на низких частотах. Для того чтобы мы услышали тон частотой 50 герц, надо, чтобы на ухо воздействовали четыре полных периода этой частоты или, что по существу то же, чтобы звук 50-периодного тока воздействовал на ухо в течение не менее 80 миллисекунд (продолжительность одного периода  $\frac{1}{50}$  секунды, а продолжительность четырех периодов  $4 : 50 = 0,08 \text{ сек.} = 80 \text{ миллисекунд}$ ). Наименьшая продолжительность звучания нужна на частоте около 2 300 герц (частота, к которой ухо наиболее чувствительно). Мы различим тон этой частоты, если он будет звучать всего лишь 15 миллисекунд. Этот промежуток времени соответствует 34,5 колебаниям. Ниже приведена таблица, в которой указаны частота, мини-

мальное число периодов, нужное для того, чтобы различить эту частоту, и время звучания, соответствующее этому числу периодов.

Частота тона (герцы)	Число периодов, нужное, чтобы различить этот тон	Продолжительность звучания этого числа периодов (миллисекунды)
50	4	80
100	5	50
200	7	35
500	9	18
1 000	16	16
2 300	34,5	15
5 000	95	19
10 000	300	30

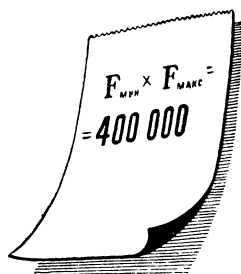
Из таблицы видно, что чем выше частота, тем больше периодов должно воздействовать на наше ухо, чтобы мы различили тон этой частоты.



Каждому радиолюбителю известно, что для улучшения качества звучания, для приближения его к естественному, нужно расширить полосу частот, воспроизводимых приемником и громкоговорителем. Но не все знают, что значительное расширение полосы пропускания в сторону только высоких или только низких частот может оказаться не полезным, а наоборот, вредным.

Опыт показывает, что наше ухо требует сохранения определенного равновесия между воспроизведением низких и высоких частот. Соотношение между ними можно выразить очень просто: произведение высшей и низшей

частот полосы пропускания должно составлять примерно 400 000. Приемник, у которого высшая воспроизводимая частота равна  $F_{\text{макс}} = 5\,000$  герц, должен иметь низшую частоту  $F_{\text{мин}}$  порядка 80 герц ( $80 \cdot 5\,000 = 400\,000$ ).



$$F_{\text{мин}} \times F_{\text{макс}} = 400\,000$$

Если у такого приемника (с верхней частотой 5 000 герц) улучшить воспроизведение низших частот, расширив полосу пропускания до, скажем, 60 герц, то требуемое равновесие нарушится и станут неприятно выделяться низкие частоты. Если громкоговоритель хорошо воспроизводит частоты до 8 000 герц, то обязательно нужно расширить диапазон усиливаемых и воспроизводимых низких частот до 50 герц, в противном случае будет ощущаться недостаток басов.

Таково одно из правил, диктуемых особенностями нашего слуха.

ГОСТ устанавливает для радиовещательных приемников следующие границы для частотной характеристики.

Класс приемника	Полоса звуковых частот (герцы)		Произведение $F_{\text{макс}} \times F_{\text{мин}}$
1-й	60	6 500	390 000
2-й	100	4 000	400 000
3-й	150	3 500	525 000
4-й	200	3 000	600 000

Как мы видим, нужное соотношение обеспечено у приемников 1-го и 2-го классов и почти обеспечено у приемников 3-го класса. У приемников 4-го класса равновесие нарушено, и звучат они хуже. Это объясняется недостатком низких частот, что имеет место главным образом из-за небольших размеров диффузора громкоговорителя и ящика приемника.

Радиолюбители, при конструировании звуковоспроизводящей аппаратуры должны учитывать необходимость такого «баланса» низких и высоких частот. В противном случае аппаратура будет или «высить» или «низить».





Вы сидите в театре. Сцена за сценой проходит перед вашими глазами. Нежный шопот влюбленных сменяется громкими песнями, за еле слышными голосами разведчиков следует громовое «ура!» атакующих бойцов и оглушительная пальба.

Теперь представьте себе на минуту, что кто-то снивелировал все звуки спектакля: шопот усилился до громкости обычного разговора, выстрелы превратились в негромкие хлопки, а герои-бойцы шли в атаку осторожно, вполголоса выкрикивая свое «ура!» Не правда ли, как сразу поблекли бы краски спектакля, насколько серым, бледным, неестественным показался бы он нам.

На языке акустики разница в громкости звучания называется динамическим диапазоном. То, чему мы мысленно были свидетелями в театре, представляло бы собой с точки зрения акустики нарушение естественного динамического диапазона. «Живые» звуки окружающего нас мира изменяют свою громкость во много раз. Отношение между наибольшей и наименьшей громкостью звучания выражают обычно в децибелах. Динамический диапазон оркестра характеризуется «полосой» громкости в 60—70 децибел. В переводе на электрическое напряжение это составляет разницу в 1 000—3 000 раз.

Чтобы передать без искажений такой динамический диапазон, у передатчика должна быть обеспечена возможность модуляции в пределах от 100% (форте-фортиссимо) до  $100 : 3\,000 = 0,03\%$  (пиано-пианиссимо). Но такая ничтожная глубина модуляции, как 0,03%, находится уже на уровне собственного фона передатчика, причем уменьшение уровня фона даже до такой величины связано с большими трудностями. Тем не менее снижение фона является единственным средством расширения динамического диапазона передатчика, так как повысить глубину модуляции свыше 100% невозможно.

Еще бóльшие трудности возникают при приеме. Наибольшая громкость звучания определяется максимальной неискаженной мощностью приемника, а наименьшая — его собственными шумами и фоном. По ГОСТ у первоклассных приемников уровень фона и шумов должен быть по крайней мере на 46 децибел ниже максимальной выходной мощности. Этим и определяется динамический диапазон приемников. У приемников он ограничен зна-



чительно более узкими границами, чем у передатчиков. Еще больше «сжимают» динамический диапазон разного рода помехи, особенно сильные в городах.

Таким образом, проблема передачи по радио естественного динамического диапазона еще не решена, а без этого невозможно получить естественное воспроизведение. Одним из намечающихся выходов из этого положения является перевод части радиовещания на ультракороткие волны (с частотной модуляцией). Возможность глубокой модуляции и отсутствие помех позволяют передать и воспроизвести на ультракоротких волнах более широкий диапазон громкости, чем на длинных, средних или коротких волнах.

Эта особенность передач с частотной модуляцией заметна при работе телевизоров. Именно поэтому телевизоры звучат хорошо даже тогда, когда в них установлены громкоговорители, применяющиеся в радиоприемниках самых низких классов.



Сила звука в акустике и радиотехнике определяется величиной звукового давления и выражается в барах. Есть ли что-либо общее между звуковым давлением и атмосферным давлением, для измерения которого применяются барометры?

Между звуковым и атмосферным давлением по существу нет принципиальной разницы. Звуковые волны представляют собой чередующиеся зоны с повышенным и пониженным давлением относительно нормального атмосферного давления в данном месте и в данное время. Когда через какую-нибудь точку пространства проходит звуковая волна, атмосферное давление в ней увеличивается и уменьшается относительно среднего значения на определенную величину, которую мы и называем звуковым давлением.

Различие между атмосферным и звуковым давлением состоит в том, что атмосферное давление сравнительно постоянно, его изменения весьма медленны. Изменение атмосферного давления на 3 мм ртутного столба в час считается метеорологами очень резким, тогда как частота изменения звукового давления доходит до многих тысяч в секунду, а наиболее медленные изменения звукового давления происходят десятки раз в секунду.

Поэтому и приборы, служащие для измерения атмосферного давления, непригодны для измерения звуковых давлений; они рассчитаны на измерение постоянного давления и не могут реагировать на быстрые его изменения. В данном случае можно провести почти полную аналогию с измерительными приборами постоянного и переменного тока.

Прибор постоянного тока «не успевает» следовать за быстрыми изменениями направления тока и стрелка такого прибора, включенного в цепь переменного тока, только дрожит, чуть отклоняясь от среднего положения.

Звуковое давление измеряется барами. Давление в 1 атмосферу равняется 981 000 бар или, в круглых циф-

рах, 1 000 000 бар. Таким образом, 1 бар равен одной миллионной доле атмосферного давления<sup>1</sup>.

Из этого сопоставления можно видеть, что изменения атмосферного давления, происходящие при распространении звуковых волн, весьма малы. Звуковые давления измеряются долями бара или десятками бар, редко — сотнями бар, что соответствует изменению атмосферного давления всего лишь на миллионные доли. Вот несколько цифр:

Порог слышимости . . . . .	0,0002 бара — $2 \cdot 10^{-10}$ атмосферы
Шопот на расстоянии 1 м	0,002 „ — $2 \cdot 10^{-9}$ „
Разговор на расстоянии 1 м	0,2 „ — $2 \cdot 10^{-7}$ „
Оркестр на расстоянии 10 м	2,0 „ — $2 \cdot 10^{-6}$ „
Авиамотор на расстоянии 10 м	300,0 „ — 0,0003 „
Болевой предел	650,0 „ — 0,0006 „

По действующему у нас стандарту радиовещательный приемник 1-го класса должен развивать на расстоянии 1 м звуковое давление не меньше 20 бар, т. е.  $2 \cdot 10^{-5}$  атмосферы, а наиболее экономичные приемники 4-го класса с батарейным питанием должны развивать на расстоянии 1 м звуковое давление не меньше 1,5 бара или  $1,5 \cdot 10^{-6}$  атмосферы.

Быстрое изменение давления примерно на 20 000 бар (0,02 атмосферы) может привести к разрыву барабанных перепонок уха.

---

<sup>1</sup> В метеорологии для измерения атмосферного давления применяется единица, тоже носящая название бара. 1 атмосфера = 1 бару = 1 000 миллибар. Метеорологический бар в миллион раз больше акустического бара.



Звуковая волна представляет собой колебательное движение частиц воздуха. Частота этих колебаний определяет собой частоту (тон) звука, а от амплитуды колебаний зависит громкость звука. Амплитуды эти чрезвычайно малы.

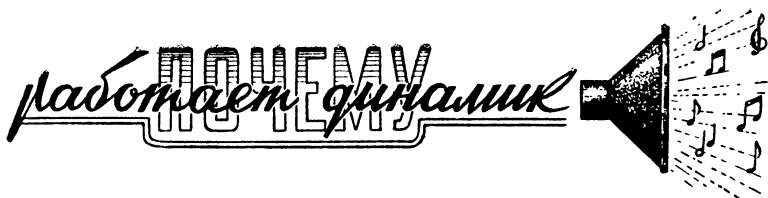
Ухо наиболее чувствительно к частоте 2 300 герц. Порог слышимости на этой частоте составляет  $10^{-10}$  микроватт/см<sup>2</sup>, что соответствует звуковому давлению  $2 \cdot 10^{-4}$  бара. Смещение частиц воздуха при громкости звука на пороге слышимости равно всего 0,1 ангстрема, т. е. меньше поперечника атома (см. стр. 9).

Колеблющиеся частицы воздуха передают свою энергию барабанной перепонке нашего уха, которая сама начинает колебаться с амплитудами примерно такого же порядка. Однако этих ультрамикроскопических амплитуд достаточно для того, чтобы слуховой нерв получил определенное раздражение, в результате которого у нас рождается ощущение звука.

Наше ухо (равно как и наш глаз) является исключительно чувствительным прибором. Эта чувствительность позволяет нам слышать такие звуки, мощность которых крайне мала.

Амплитуды колебания барабанной перепонки продолжают оставаться очень малыми даже при значительно более громких звуках. Когда мы разговариваем с нормальной громкостью, не повышая голоса, то звуки голоса нашего собеседника заставляют барабанную перепонку колебаться с амплитудой всего несколько микрон.

Смещение частиц воздуха при громкости, достигающей болевого предела, довольно велико; оно измеряется миллиметрами. До такой амплитуды доходит смещение частиц воздуха, вызванное, например, работающим на расстоянии нескольких метров авиационным мотором.



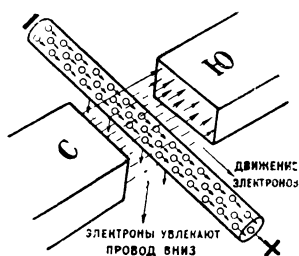
Как ответить на такой вопрос: потому, что диффузор колеблет воздух, или потому, что звуковая катушка громкоговорителя колеблет диффузор? А, может быть, потому, что в громкоговоритель поступают из приемника токи звуковой частоты?

Звуковая катушка представляет собой некоторое количество витков провода, скрепленных с каркасом катушки и находящихся в сильном магнитном поле. Когда через обмотку катушки не протекает электрический ток, она не испытывает действия каких-либо сил, стремящихся привести ее в движение. Между магнитным полем и звуковой катушкой отсутствуют взаимодействия, могущие вывести ее из положения равновесия.

Но вот в витках звуковой катушки появляется электрический ток: свободные электроны, находящиеся в металле провода катушки, начали организованно двигаться в одну сторону.

Между движущимся электроном и магнитным полем существует определенное взаимодействие. Если электрон движется не точно в направлении поля, то на него будет действовать сила, стремящаяся изменить направление его движения. Направление действия этой силы легко определить по правилу правой руки: если правую руку расположить в магнитном поле так, чтобы ладонь была обращена к северному полюсу, а четыре сложенных пальца указывали направление движения электрона, то отогнутый большой палец укажет направление силы.

Электроны, начав свое движение в проводе звуковой катушки громкоговорителя, немедленно испытывают действие магнитного поля, стремящегося вытолкнуть их из магнитного зазора, и, подчиняясь ему, изменяют направление движения. Если электроны были бы действительно полностью свободными, то они вырвались бы из провода и устремились вон из магнитного зазора громкоговорителя. Началась бы своеобразная «магнитная эмиссия» электронов из провода с током.



Но свобода электронов в проводе относительна. Электроны могут передвигаться в толще металла провода, но при этом они испытывают определенное сопротивление с его стороны; электронам приходится протискиваться между атомами металла и сталкиваться с ними. Особенно больш-

шие затруднения встречают электроны у поверхности провода. Движение электрона, стремящегося покинуть провод, в этой зоне встречает сильнейшее противодействие со стороны других электронов и ионов металла. Когда электрон находится во внутренних пространствах толщи провода, его взаимодействие с другими элементарными частицами уравнивается, потому что они окружают электрон со всех сторон. В пограничной зоне, толщина которой около  $10^{-7}$  мм, электроны испытывают сильнейшее притягивающее действие со стороны положительных ионов металла, которое не только ничем не уравнивается, но, наоборот, усиливается отталкивающим действием пограничного слоя электронов атомных оболочек. Оба эти действия стремятся втянуть электрон обратно в провод.

Таким образом, электроны, которые в силу взаимодействия с магнитным полем «хотят» покинуть провод, не могут сделать этого из-за действия сил, существующих в пограничной зоне у поверхности проводника.

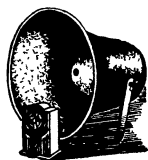
Но электроны не могут не подчиняться действию выталкивающей силы магнитного поля. Они начинают двигаться в направлении этой силы и, не будучи в состоянии вырваться из провода, увлекают его с собой.

Поэтому на поставленный вопрос надо ответить так: динамический громкоговоритель работает потому, что электроны, образующие электрический ток в звуковой катушке, взаимодействуя с магнитным полем в зазоре громкоговорителя, стремятся вырваться за пределы поля. Однако действующие в проводнике внутренние силы не позволяют им покинуть проводник. В результате электроны увлекают проводник с собой. Проводник в свою очередь увлекает скрепленный с ним каркас катушки, а катушка увлекает скрепленный с ней диффузор.

По такой же точно причине работают все электромоторы, рамки измерительных приборов и пр. Ротор мотора мощного электровоза, как и звуковую катушку громкоговорителя, движут электроны, которые, повинаясь магнитному полю, стремятся вырваться из провода, но не будучи в состоянии сделать это, увлекают за собой провод.

В заключение надо сделать маленькую оговорку. Из нарисованной здесь картины можно сделать вывод, что при отсутствии тока электроны в проводе не движутся. Это, конечно, неверно. При отсутствии тока в проводе происходит тепловое движение электронов и эти электроны также взаимодействуют с магнитным полем. Но в тепловом движении электронов нет какого-либо преимущественного направления. Отдельные электроны движутся в различные стороны и, взаимодействуя с магнитным полем, стремятся увлечь с собой провод и вытолкнуть его из зазора в обоих направлениях: и в сторону диффузора и в противоположную сторону. Такие силы взаимно уравнивают друг друга, поэтому провод остается неподвижным. Лишь при организованном движении больших масс электронов в одном направлении, каким является электрический ток, возникают силы, увлекающие провод в определенную сторону.

## *От чего зависит* **МОЩНОСТЬ** *динамика?*



От чего зависит мощность громкоговорителя? Какими особенностями конструкции она определяется?

Для получения ответа на эти вопросы как будто проще всего обратиться к таблицам с данными громкоговорителей. Из сопоставления данных, относящихся к громкоговорителям различной мощности, можно будет сразу увидеть, чем они различаются.

Читатель может проделать это. Однако ознакомление с соответствующими таблицами заставит его прийти к странному выводу, что никакой существенной разницы в конструкции громкоговорителей самой различной мощности усмотреть нельзя.



Вот, например, данные двух динамических громкоговорителей: абонентского трансляционного громкоговорителя ДГМ и мощного рупорного «уличного» громкоговорителя Р-10:

Громкоговорители	ДГМ	Р-10
Диаметр диффузора, мм . . . . .	196	170
Диаметр звуковой катушки, мм . . . . .	25,4	25,7
Число витков звуковой катушки . . . . .	41	39
Диаметр провода звуковой катушки, мм . . . . .	0,23	0,21
Магнитная индукция в зазоре, гаусс . . . . .	5 000	4 800

Как видим, размеры звуковых катушек обоих громкоговорителей почти одинаковы; магнитную индукцию тоже можно считать одинаковой, разница в размерах диффузоров очень мала, а по мощности они отличаются друг от друга в... 65 раз. Мощность громкоговорителя Р-10 10 ватт, а ДГМ — всего 0,15 ватта.

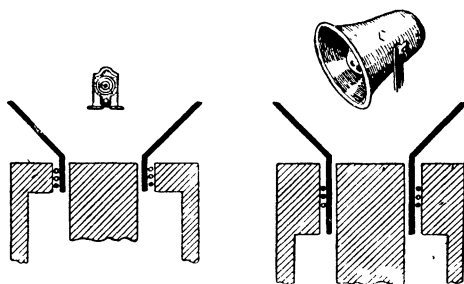
В чем же дело? Ведь не может же быть, чтобы громкоговорители столь различной мощности не имели конструктивных различий. Если звуковая катушка, индукция в зазоре и размеры диффузора у громкоговорителя мощностью 0,15 ватта такие же, как у 10-ваттного, то что же нам мешает подвести к нему 10 ватт и заставить его обслуживать большой зал или даже площадь?

Конечно, было бы бесполезно заставлять громкоговоритель ДГМ обслуживать аудиторию на открытом воздухе и перекрывать уличный шум. У него есть конструктивные отличия от его мощного собрата Р-10, но эти особенности не находят отражения в таблицах.

Звуковая катушка громкоговорителя Р-10 может совершать колебания с гораздо большей амплитудой, чем катушка ДГМ. Для того чтобы при больших амплитудах не возникали искажения, надо обеспечить, во-первых, соответствующую конструкцию диффузора (возможность больших смещений без перекоса) и, во-вторых, постоянство магнитного поля на всем пути звуковой катушки. Надо, чтобы катушка при больших колебаниях не выходила из поля. Это второе требование вызывает необходимость значительного увеличения глубины кольцевого

зазора, в котором движется катушка, т. е. увеличения толщины верхнего фланца магнитной системы.

Но для того, чтобы в глубоком зазоре создать такое же магнитное поле, такую же магнитную индукцию, как в очень малом по глубине зазоре маломощного громкоговорителя, нужен значительно более мощный магнит. Поэтому, несмотря на то, что у обоих рассматриваемых



громкоговорителей магнитная индукция в зазоре одинакова, вес их магнитов далеко не одинаков. Магнит громкоговорителя Р-10 весит 1 350 г, а магнит ДГМ — всего 250 г.

Однако вес магнитов и глубину зазора в справочных таблицах не указывают, а остальные данные обычно не дают возможности судить о мощности динамических громкоговорителей.

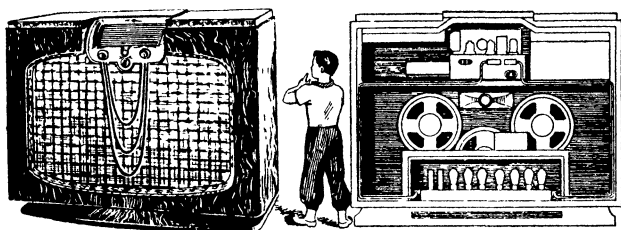


В звучании радиоприемника решающую роль играет громкоговоритель. Необходимо, чтобы он хорошо воспроизводил все частоты звукового спектра, начиная с самых низких и кончая наиболее высокими.

Однако выполнить это требование при помощи одного громкоговорителя невозможно. Для хорошего воспроизведения низких звуковых частот громкоговоритель должен иметь большой и сравнительно мягкий диффузор, а

для воспроизведения высших частот звукового диапазона — небольшой и жесткий.

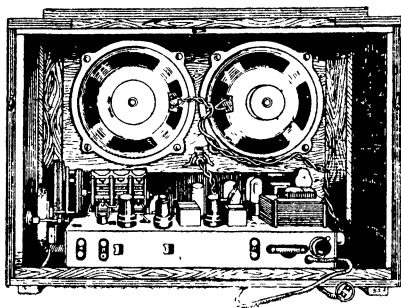
В высококачественных установках воспроизведение широкой полосы звуковых частот обеспечивается применением нескольких громкоговорителей (от двух до четы-



рех), причем один из них бывает специальным высокочастотным. Таковы громкоговорящие агрегаты для звукового кино, состоящие из двух громкоговорителей, таковы контрольные широкополосные агрегаты типа КА-342 с тремя громкоговорителями, а также многоламповая радиода «Рига» с агрегатом из четырех громкоговорителей.

Два разночастотных динамических громкоговорителя можно встретить и в лучших радиоприемниках. Так, двумя громкоговорителями — большим для низких частот и малым для более высоких частот — был снабжен радиоприемник «Мир».

Однако в последнее время появились приемники с двумя громкоговорителями иного типа: оба громкоговорителя на взгляд совершенно одинаковы, поэтому они не могут служить для воспроизведения разных частот. К таким приемникам относятся «Беларусь-53», «Октябрь», «Звезда-54», «Днепропетровск», «Минск»; телевизоры «Север», «Авангард», «Луч» и др.



Что же можно получить от двух одинаковых громкоговорителей? Разве только увеличение мощности?

Оказывается, два примерно одинаковых громкоговорителя, если они правильно подобраны и использованы,

обеспечивают равномерное воспроизведение более широкой полосы частот, чем каждый из них в отдельности, и, в частности, воспроизведение более низких частот, что особенно важно.

В чем же заключается подбор громкоговорителей, предназначенных для вдвоенной работы?

У каждого громкоговорителя имеется собственная резонансная частота. Собственную резонансную частоту имеет и ящик. Громкоговорители подбираются так, чтобы их резонансные частоты не были одинаковы и чтобы резонансная частота ящика лежала между ними. Например, обычно громкоговорители средних размеров (для приемников 2-го класса) не воспроизводят частоты ниже 80 герц. Но если подобрать два громкоговорителя с резонансными частотами 80 и 100 герц и поместить их в ящик с резонансной частотой около 90 герц, то такая система начинает воспроизводить частоты примерно от 60 герц с очень хорошей равномерностью в пределах всей полосы. Работа подобной системы громкоговорителей с подобранным ящиком несколько напоминает работу высокочастотного полосового фильтра, пропускающего более широкую полосу частот, чем может пропустить каждый из составляющих его контуров в отдельности.

Однако следует иметь в виду, что такой результат получается только при условии подбора резонансных частот громкоговорителей и ящика. Если поместить два случайных громкоговорителя в несоответствующий по акустике ящик, то можно получить не улучшение, а ухудшение звучания.



У вас есть хороший радиоприемник. Он наполняет комнату чистыми приятными звуками при едва наполовину выведенном регуляторе громкости. Выезжая летом на дачу, вы решили взять радиоприемник с собой — трудно расстаться со своим верным другом. Вы предвку-

шаете, как хорошо будет послушать радиопередачу на открытом воздухе, среди цветов и зелени.

Но что случилось с радиоприемником? Его установили на столике в саду, протянули достаточно высокую антенну, конечно лучшую, чем городская комнатная антенна, но приемник работает очень тихо, даже при полностью выведенном регуляторе громкости. Проверка напряжения и ламп ничего не дала: напряжение нормальное, лампы хорошие. Больше того, здесь же на даче в комнате приемник работает попрежнему громко, но как только его выносят на открытый воздух, его громкость резко уменьшается.

В чем же дело? Ведь не может быть, чтобы в комнате приемник развивал большую мощность, чем при работе в саду?

Разумеется, приемник и в комнате и на открытом воздухе работает одинаково, отдаваемая им мощность и развиваемая громкость тоже одинаковы, но слышно в комнате действительно громче, чем на открытом воздухе. Объясняется это очень просто.

На открытом воздухе звуковая волна, рождаемая громкоговорителем приемника, долетает до нас и уносится дальше. Мы, так сказать, слышим каждый звук громкоговорителя только раз. Не так обстоит дело в комнате.

Конечно, и в комнате мы прежде всего слышим звуковую волну, достигшую наших ушей непосредственно от приемника. Но слышим мы не только ее одну. Созданные приемником звуковые волны достигают стен комнаты, предметов обстановки и т. п. и отражаются от них под самыми различными углами. Часть отраженных волн попадает в наши уши, и их действие складывается с действием основной волны. Но и на этом дело не заканчивается. Отраженные от стен звуковые волны снова ударяются о стены, вновь отражаются от них и опять достигают наших ушей, складываясь с волнами, достигшими их раньше.

Разумеется, энергия звуковых волн с каждым отражением уменьшается — звуковые волны затухают. Общее число отражений звуковых волн в комнате достигает нескольких сотен, но на увеличении громкости слухового восприятия сказываются обычно первые пять—десять отражений, после чего мощность отраженных волн стано-

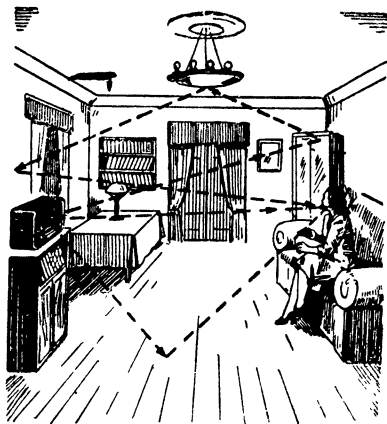
вится столь малой, что они уже не могут существенно повлиять на суммарную интенсивность слухового ощущения.

Повторные воздействия звуковых волн на органы слуха приводят к известному удлинению каждого звука, но оно слишком мало, чтобы исказить звучание. В этом легко убедиться. Расстояния, которые проходит в обычной комнате звуковая волна при своем отражении, не превосходят 5—6 м. При скорости 340 м в секунду звук проходит такое расстояние примерно за 0,02 секунды. Следовательно, первые наиболее громкие отраженные звуки воспринимаются в течение около 0,1 секунды. Удлинения звука на одну десятую секунды мы не замечаем.

Может ли в комнате произойти то, что акустики называют отрывом отраженного звука от основного? Нет, не может. Для того чтобы мы услышали два звука отдельно, интервал между ними должен составлять не менее  $\frac{1}{16}$  секунды (см. стр. 104). За  $\frac{1}{16}$  секунды звук проходит расстояние 50 м, следовательно, громкое эхо—эхо первого отражения может получиться в комнате с расстоянием между стенами не менее 25 м, но таких комнат не бывает.

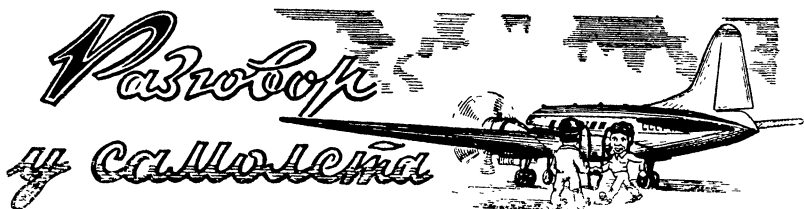
Из этого примера, между прочим, ясно видна разница между эхом и реверберацией. Под реверберацией понимается увеличение громкости звучания и его длительности, но без отрыва отраженных звуков от основного. Если же происходит отрыв отраженного звука от основного и мы различаем их отдельно, то возникает эхо.

Увеличение громкости звучания в помещении по сравнению с громкостью звучания на открытом воздухе наблюдается не только при работе радиоприемников. Слова оратора, пение, игра на музыкальных инструментах и т. п. в помещениях слышны громче, чем вне них. На открытом воздухе ораторам приходится значительно напрягать голос, иначе их будет слышно плохо.



В заключение интересно задать вопрос: куда же все-таки в конце концов девается звук? Ведь звуковые волны несут с собой известную энергию, которая не может пропасть бесследно.

Энергия звуковых волн, заключающаяся в механическом колебании частиц воздуха, в конце концов превращается в тепло. Звук в комнате затухает вследствие того, что энергия звуковых волн затрачивается на преодоление трения между частицами воздуха и нагревание стен и всех предметов обстановки. Но это нагревание так мало, что обнаружить его мы, конечно, не можем. В очерке о к.п.д. радиоприемника (см. стр. 149) приводится пример крайне малой мощности звуковых колебаний, создаваемых громкоговорителем радиоприемника. Мы бы не заметили повышения температуры в комнате, даже если бы звуковая энергия, развиваемая радиоприемником в течение года, выделилась сразу.



На аэродроме стоит большой самолет. Его моторы работают. От их страшного рева все вокруг дрожит, и, кажется, кричи в самое ухо — ничего не будет слышно.

Но подле одного из моторов стоят двое летчиков в комбинезонах и плотно застегнутых шлемах. Шлем одного из них соединен со шлемом другого длинным проводом, не мешающим ходить.

Они спокойно разговаривают, шутят, смеются. Мы догадываемся об этом по тому, как они беззвучно шевелят губами и улыбаются, но, конечно, ничего не слышим.

Каким же образом они ухитряются слышать друг друга? Соединяющий их шлемы провод наводит на мысль, что они разговаривают по телефону, но где же микрофоны? Если микрофон спрятан у них под одеждой, то как же он улавливает звуки голоса и почему он не воспринимает рева моторов? Попробуйте включить в

комнате громко работающий приемник и разговаривать по телефону. Микрофон будет улавливать не только голос, но и звучание приемника, и ваш собеседник, вероятно, не разберет ничего. Да и сами вы будете не в лучшем положении, потому что приемник заглушит более слабое звучание телефона.

И все же наше предположение, что разговор ведется по телефону — правильно. Только микрофон в этом случае применен особый — не воспринимающий звуков.

Выражение «не воспринимающий звуков микрофон» кажется лишенным смысла. Ведь микрофон как раз и предназначен для того, чтобы воспринимать звуки. Если он не будет восприимчивым к звукам, то он просто не сможет работать.

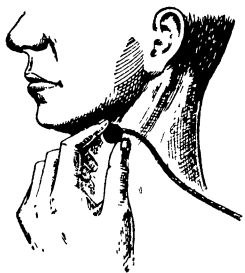
Между тем это именно так. Микрофон, которым пользуются наши летчики, стоящие возле самолета, умышленно сделан так, чтобы он не был чувствителен к звукам. Можно поднести такой микрофон к самому рту и кричать изо всех сил — он никак не будет на это реагировать.

Как же объясняется это противоречие?

Мы привыкли считать звуками колебания воздуха. Но ведь звуки могут распространяться не только в воздухе и передаваться не только воздухом. Находясь в комнате с закрытыми окнами и дверями, мы слышим гудки проезжающих по улице автомашин, звонки трамваев, крики играющих ребят. Между нами и источниками этих звуков нет непрерывного воздушного пути. Дорогу звуковым волнам преграждают стены, окна, двери. Но звуковые волны «раскачивают» стены, двери и окна дома, порождают в них вибрации звуковой частоты, которые в свою очередь передаются ими воздуху, находящемуся в комнате.

Микрофоны, о которых здесь идет речь, носят название ларингофонов. Они изготовлены так, что не воспринимают звуков из воздуха и воздушные волны на них не действуют. В каждом микрофоне есть какая-нибудь легкая деталь, которая под действием звуковых волн воздуха смещается относительно других его частей; это — мембрана, выполненная тем или иным способом. Это смещение используется для преобразования звуковых импульсов в электрические путем изменения сопротивления угольного порошка, перемещения катушки в магнитном поле, изменения емкости конденсатора и т. п.





В ларингофоне нет такой легкой смещающейся мембраны. При воздействии на него воздушных волн он будет смещаться весь целиком, взаимное расположение его частей не изменится, он «не воспримет» звуков. Но если ларингофон прижать к вибрирующей поверхности, то вибрации начнут изгибать его; при этом произойдет смещение отдельных частей относительно друг друга, что и используется для преобразования звуковой энергии в электрическую.

К чему же прижимаются ларингофоны, для того чтобы уловить звуки голоса?

Они прижимаются к glandам (по-гречески glandy—ларинги), находящимся у нас на шее под челюстью. Когда мы говорим, эта часть шеи сильно вибрирует (прижмите пальцы к шее и скажите что-нибудь, вы сразу найдете сильно вибрирующее место) и деформирует прижатую к ней поверхность ларингофона. Затем все происходит так же, как в микрофоне.

Ларингофоны бывают различных систем: угольные, пьезоэлектрические и др. Пьезоэлектрический ларингофон легко сделать самому, так как любой пьезоэлемент может работать как ларингофон. Такой ларингофон довольно хорошо работает с ламповым приемником. О таком применении пьезоэлемента рассказывается также на стр. 129.

Ларингофоны дают возможность разговаривать в местах, где стоит сильный шум: вблизи самолетов, внутри танков и пр. В этих случаях они применяются в сочетании со шлемами. В шлемы заделываются телефонные трубки и ларингофоны. Когда шлем надет и застегнут, трубки прижимаются к ушам, а ларингофоны — к нужному месту горла. Шлем, кстати, заглушает посторонние шумы и позволяет различать на их фоне полезные звуки, создаваемые телефонными трубками.



# Беззвучный ГРОМКОГОВОРИТЕЛЬ

Сочетание «беззвучный громкоговоритель» кажется таким же нелепым, как «не воспринимающий звуков микрофон», с которым читатель только что познакомился. Но....

Вы вошли в больничную палату. Полная тишина. Около десятка больных лежит на кроватях. Двое спят, один читает. Остальные лежат в разных позах. Вдруг они, словно по команде, сначала заулыбались, потому расхохотались.

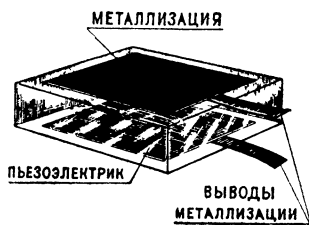
Сопровождающий вас врач усмехнулся, заметив ваш недоуменный взгляд, и сказал:

— Это радио. Они лежат на говорящих подушках.

Присмотревшись, вы замечаете, что близ изголовья каждой кровати установлена штепсельная розетка, от которой тянется провод под подушку. По вашей просьбе врач показал механизм этой странной «говорящей подушки». Провод, идущий от штепсельной розетки, соединенной с трансляционной сетью, заканчивается плоским футлярчиком из целлулоида длиной с мизинец, шириной около сантиметра и толщиной не более трех миллиметров.

Пока он не соприкасается с твердыми предметами, он не издает никаких звуков. Но если приложить его к какому-нибудь предмету — столу, коробке, газетному листу, то он начинает звучать, как громкоговоритель.

В этом целлулоидном футлярчике находится пьезоэлемент. Под воздействием тока звуковой частоты, поступающего из трансляционной сети, пьезоэлемент вместе с гибким футлярчиком изгибается с частотой, равной частоте тока, и колеблется как мембрану предмет, к которому он прижат. Таким образом, рождаются звуки.



Подушка слишком мягка, для того чтобы сыграть роль мембраны и начать звучать, но она достаточно хорошо передает вибрации пьезоэлемента покоящейся на ней голове и дает возможность воспринимать звуки не ушами, а любой частью поверхности головы. Поэтому для слушания радиопередачи совсем не обязательно прикладывать к подушке ухо. Голова может располагаться на подушке, как угодно. Радиопередача все равно будет слышна.

Но она слышна только тому, чья голова лежит на подушке. Сама подушка не звучит, поэтому никто из находящихся в комнате ничего не услышит.

Такие «беззвучные громкоговорители» очень удобны в больничных палатах, общежитиях, домах отдыха и пр. Одни из находящихся в комнате хотят слушать радиопередачу, другие не хотят. Как тут быть? Громкоговоритель включить нельзя. Пользоваться телефонными наушниками утомительно: они сжимают уши и голову, вынуждают сохранять определенное положение головы.

«Беззвучный пьезоговоритель» лишен этих недостатков. Он позволяет слушать радиопередачи, никому не мешая, не стесняя голову наушниками и не вынуждая ее принимать определенное положение.

Заделка пьезоэлемента в плотно охватывающий его целлулоидный чехольчик нужна для защиты от повреждений. Сами по себе пьезоэлементы хрупки и без такой защиты быстро приходили бы в негодность.



Этот вопрос не относится к категории шуточных. Наши уши хорошо приспособлены для слушания звуков, распространяющихся в воздухе, но звуки могут передаваться не только по воздуху. Звук есть колебательный процесс. Частицы вещества, передающего звук, колеблются относительно какого-то среднего положения. Звуковые вибрации твердых тел могут быть восприняты костями черепа и переданы ими звуковому нерву. Даль-

нейшие процессы восприятия звуков идут обычными путями.

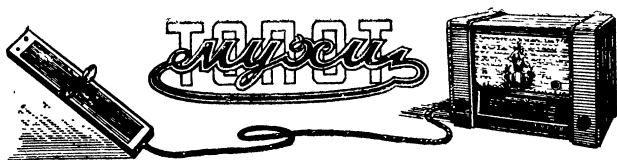
Особенно хорошо «слышат» зубы. Если зажать зубами пьезоэлемент, о котором говорилось на стр. 125, то радиопередача будет слышна чрезвычайно громко и чисто. Это объясняется тем, что в данном случае осуществляется непосредственный контакт вибрирующего тела с костями. Звуки будут слышны и тогда, когда пьезоэлемент прижат к любому месту головы: лбу, темени и т. д., но громкость при этом будет чуть меньшей, потому что вибрации несколько приглушаются кожей.

Именно на этой особенности черепа и основана работа «беззвучного громкоговорителя». Звуковые вибрации, доходящие через подушку от пьезоэлемента к голове, могут быть восприняты любой ее частью. Поэтому нет нужды прижимать уши к подушке.

Возможность восприятия звуков костями черепа спасительна для людей с поврежденными барабанными перепонками, но имеющими нормальный звуковой нерв. Без этой возможности им пришлось бы жить в скучном мире, лишенном звуков. Способность костей черепа воспринимать звуки позволяет им «слышать». Для таких людей созданы специальные «костные телефоны» — остеофоны (по-гречески кость — ос). В этих телефонах вибрирует не мембрана, колеблющая в свою очередь воздух, а небольшая пластина, прижатая к голове. Через пластину вибрации передаются костям черепа, далее — звуковому нерву и по нему — соответствующим мозговым центрам.

«Беззвучный громкоговоритель», о котором рассказывалось на стр. 125, сродни остеофонам. Принципы их работы одинаковы. Разница состоит в том, что остеофоны предназначены для людей, не могущих слышать иными способами, а говорящие подушки — для людей, желающих слушать, не мешая другим.

Способностью воспринимать звуки костями черепа мы иногда пользуемся, сами того не сознавая. Например, для того, чтобы услышать то, что делается за дверью, мы прикладываем ухо к двери. В этом случае к восприятию звуков барабанной перепонкой прибавляется восприятие их костями.



Мы привыкли говорить о топоте толпы, о топоте конских копыт. Само слово «топот» связывается с представлением о чем-то грузном, тяжелом. Как можно говорить о топоте такого легковесного создания, как муха? Разве его можно услышать?

Хороший пьезоэлемент делает выражение «топот мухи» вполне реальным и правомерным.

Пьезоэлементы относятся к обратимым приборам. Если включить пьезоэлемент в цепь тока звуковой частоты, то он начинает вибрировать. Подведение к пьезоэлементу электрического напряжения заставляет его деформироваться. И наоборот, при деформации (изгибе, растяжении и пр.) пьезоэлемента на нем возникают электрические заряды.

Чувствительность пьезоэлементов исключительно велика. Даже самое легкое прикосновение приводит к появлению на них зарядов. Конечно, эти заряды так малы, что мы непосредственно не можем их обнаружить, но ведь радиотехника знает способы усиления даже ничтожных электрических импульсов.

Возьмем пьезоэлемент и присоединим его к гнездам радиоприемника, предназначенным для включения граммофонного звукоснимателя. Радиоприемники усиливают сигналы, подведенные ко входу звукоснимателя во много раз.

Теперь даже легкое прикосновение к пьезоэлементу будет сказываться в виде сильного шума и грохота громкоговорителя. Положите пьезоэлемент на стол и дождитесь, пока на него сядет муха. Затрата времени будет компенсирована возможностью слушать то, что редко кто слышал: топот мухи, пробегающей по пьезоэлементу. Звуки, которые раздадутся при этом из громкоговорителя, вполне оправдают применение слова «топот». Отсюда, кажется, совсем не так уже далеко до того рекорда тонкости слуха, о котором говорится в народных сказках: до возможности слышать, как растет трава.

Пьезоэлемент, присоединенный ко входу звукоприемника, позволяет произвести много интересных опытов.



Приложите его к горлу около гланд и скажите что-нибудь — громкоговоритель воспроизведет ваши слова. В этом случае пьезоэлемент работает как ларингофон. Прикрепите к пьезоэлементу граммофонную иглу и проигрывайте им граммофонную пластинку — пьезоэлемент превратится в чувствительнейший звукоприемник. Прижмите пьезоэлемент к деке скрипки, балалайки, гитары, к пианино — игра на этих инструментах будет воспроизводиться громкоговорителем.

Подобных опытов можно проделать множество.

Пьезоэлемент является очень хорошим и доступным представителем тех приборов, которые обладают способностью непосредственно преобразовывать механические импульсы в электрическую энергию, давая этим возможность измерять и изучать их при помощи тончайших и чувствительнейших электрических приборов.

## *Напряжение на обкладках* **ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТА**

A decorative banner featuring the title 'Напряжение на обкладках ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТА'. On the left side of the banner is an illustration of a glowing light bulb. On the right side is an illustration of a hand holding a piezoelectric element, with a small spark or light effect shown near it.

Пьезоэлементы являются преобразователями механических импульсов в электрические. Общеизвестно, что преобразователи эти очень эффективны — пьезоприборы развивают большие напряжения по сравнению с подобными по назначению приборами других систем. Например, пьезомикрофоны развивают напряжение, измеряемое сотыми долями вольта, тогда как микрофоны динамические, ленточные и др. дают напряжения, в десятки раз меньшие. Пьезоэлектрические граммофонные звукоприемники развивают несколько вольт, иногда до 2—5 вольт, а электромагнитные звукоприемники дают не более 0,2—0,5 вольта.

Столь значительные напряжения возникают на обкладках пьезоэлементов при сравнительно очень малых амплитудах механического воздействия. У микрофонов они в большинстве случаев бывают меньше микрона. У пьезоэлектрических звукооснимателей они тоже весьма малы. В самом деле, отклонение модулированной звуковой канавки граммофонной пластинки от ее среднего положения при самой громкой записи не превышает 50 микрон. Очевидно, что амплитуда колебаний кончика граммофонной иглы не может быть больше этой величины. Игла вместе с иглодержателем представляет собой рычаг, у которого плечо с иглой по крайней мере в 3—4 раза длиннее плеча, скрепленного с пьезоэлементом. Поэтому амплитуды механических колебаний, воспринимаемые пьезоэлементом, не превосходят 15 микрон.

Какие же напряжения могут возникать на обкладках пьезоэлементов при более сильном механическом воздействии?

Они могут быть весьма значительными. Если постучать по пьезоэлементу пальцем или палочкой с силой, которая далеко не представляет угрозы его целости, то на обкладках пьезоэлемента возникает напряжение, превышающее 100 вольт. В этом легко убедиться, присоединив к пьезоэлементу небольшую неоновую лампочку, например типа МН-3 или МН-5 (сигнальную неоновую лампочку от приемника «Родина-52»). При постукивании по пьезоэлементу такая лампочка вспыхивает, хотя потенциал ее зажигания около 60 вольт и сама по себе она представляет для пьезоэлемента очень большую нагрузку.

Надо сказать, что подобные неожиданно большие напряжения появляются чаще, чем мы ожидаем, но они остаются незамеченными из-за малой величины зарядов. Все, например, знают, что если провести расческой по сухим волосам, то расческа наэлектризуется; станет притягивать кусочки бумаги и пр. Однако подлинная величина напряжения остается при этом в большинстве случаев неизвестной. Между тем она не так-то мала. Если провести расческой по волосам и затем коснуться ею вывода статического вольтметра, то он покажет больше ста вольт, иногда до полутора вольта. Это больше напряжения осветительной сети.



# ЭТО НЕ МОЙ ГОЛОС

Вы в первый раз в жизни произвели запись своего голоса на магнитофоне. С интересом переключаете его на воспроизведение и... разочаровываетесь: из громкоговорителя звучит не ваш, а какой-то чужой, незнакомый голос.

Но почему-то окружающие не уловили искажения, они утверждают, что голос очень похож. Чем же объясняется это разногласие? Почему все узнают ваш голос, а вы сами не узнаете?

Все звуки, доходящие до нас извне, мы воспринимаем ушами, но звуки собственного голоса мы улавливаем не ушами, а костями черепа. Вибрации голосовых связок непосредственно передаются костям и через них слуховому нерву. Но при передаче по костям звук приобретает не ту окраску, что при передаче по воздуху. Мы привыкли к такому тембру своего голоса, какой характерен при передаче по костям, поэтому мы не узнали его, когда нам пришлось воспринять его «с воздуха». Все же окружающие, естественно, привыкли к «воздушному» тембру вашего голоса и поэтому сразу узнают его в магнитофонной записи.

Конечно, когда мы говорим или поем, наши уши тоже воспринимают звуки из воздуха, но раздражение, дошедшее до слухового нерва по костям, значительно сильнее раздражения, созданного колебаниями барабанной перепонки, и основная тембровая окраска голоса определяется «костяным трактом». В этом легко убедиться. Попробуйте говорить что-нибудь с одинаковой громкостью и слушать себя сначала, как обычно, а потом, закрыв уши. Вы убедитесь, что, закрыв уши, вы услышите себя гораздо громче. Закрыв уши вы исключили воздействие на





слуховой нерв всех посторонних шумов, оказывающих маскирующее действие на звуки вашего голоса, поэтому он стал слышен относительно громче. Чем больше шум в помещении, тем резче будет разница.



При поверхностном рассмотрении этот вопрос может показаться бессмысленным. Звукосниматель и игла составляют одно целое и вместе движутся по граммофонной пластинке (фактически движется пластинка, но в данном случае речь идет об относительном движении). Каким же образом они могут иметь разные скорости?

Но на самом деле и этот вопрос не относится к категории шуточных. Скорости движения звукоснимателя и иглы действительно неодинаковы. Сейчас мы убедимся в этом.

На пластинке обычных размеров (диаметром 25 см) наименьший радиус бороздок бывает около 6 см, наибольший — примерно 12 см. Средний радиус бороздок равен, следовательно, 9 см, а средняя длина витка бороздки составляет около 54 см.

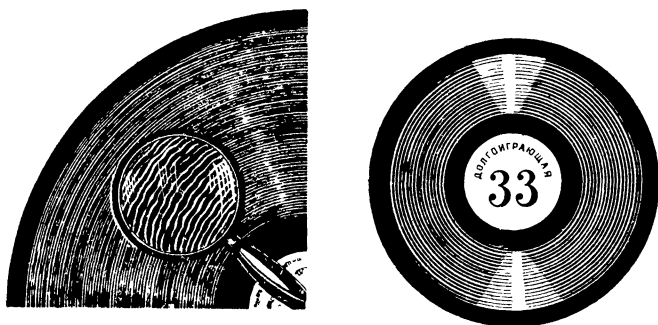
На одном сантиметре радиуса пластинки укладывается в среднем 37 бороздок. На шести сантиметрах (разность между наибольшим и наименьшим радиусами) уложатся 222 витка, а так как средняя длина витка равна 54 см, то общая длина всей звуковой бороздки составит примерно 120 м.

Какова же скорость движения звукоснимателя? Она подсчитывается просто. Проигрывание пластинки длится около трех минут, а длина бороздки, как мы только что видели, составляет 120 м. Следовательно, скорость движения звукоснимателя в круглых цифрах равна 2,5 км в час — это скорость пешехода, идущего медленным шагом. Но следует учесть, что эта скорость является средней. В начале пластинки, где скорость наибольшая, она

равна примерно 3,4 км в час, а в конце, где радиус витка мал, она снижается до 1,7 км в час. Заметим, кстати, что среднее время проигрывания одного витка бороздки составляет 0,77 секунды.

В этом подсчете не было принято во внимание, что бороздка грамофонной пластинки в соответствии с частотой и громкостью записанного на ней звука имеет извилины. Мы произвели подсчет длины немодулированной бороздки. Извилины увеличивают длину бороздки в 3—5 раз, т. е. фактическая длина бороздки может достигать до 600 м. Кончик иглы звукоснимателя следует по всем извилинам бороздки и за тот же отрезок времени, в течение которого звукосниматель пробежит 120 м, игла — вернее ее кончик — проделает путь в полкилометра. Полкилометра в три минуты — это скорость 10 км в час. Чтобы не отстать от звукоснимателя, нам достаточно идти медленным прогулочным шагом. Но если мы захотим поспеть за кончиком иглы этого звукоснимателя, нам придется довольно быстро бежать.

Заметим, кстати, что работа звукоснимателя основана именно на том, что игла следует по извилинам бороздки,



а сам звукосниматель движется по правильной спирали. При несоблюдении этого условия звукосниматель не мог бы работать.

Приведенный подсчет был сделан нами для пластинок старого стандарта, предназначенной для проигрывания со скоростью 78 оборотов в минуту. Теперь выпускаются также долгоиграющие пластинки, которые проигрываются со скоростью  $33\frac{1}{3}$  оборотов в минуту при примерно 100 витках на сантиметр радиуса пластинки. Продолжительность проигрывания такой пластинки

(обычных размеров) — 15 минут. Число витков доходит до 600 при общей длине немодулированной бороздки около 330 м. Продолжительность проигрывания витка 1,8 секунды. Средняя скорость звукозаписывателя 1,1 км в час; наибольшая — 1,5 км в час, наименьшая — 0,75 км в час.

Извилины бороздки долгоиграющей пластинки меньше, чем у обычных; длина модулированной бороздки превышает длину немодулированной примерно в 2 раза, составляя, следовательно, около 650—700 м.

Рекорд по длине бороздки побивают долгоиграющие пластинки увеличенного формата. Длина их немодулированной бороздки составляет около 1 км, а модулированной — до 2 км.



Радиоприемник представляет собой аппарат, предназначенный для приема радиоволн. Наш глаз является оптическим прибором, назначение которого состоит в приеме световых волн.

Но ведь физическая сущность радиоволн и световых волн одинакова: и те и другие относятся к электромагнитным колебаниям и различаются лишь частотой. Радиоволнами мы считаем в настоящее время электромагнитные колебания с длиной волны примерно от нескольких миллиметров до нескольких километров, а световые волны имеют длину волны 0,36—0,76 микрон, т. е. 0,00036—0,00076 мм.

Поскольку с этой точки зрения радиоприемник и глаз можно считать приборами одинакового назначения, мы можем сравнить их технические качества. Наиболее легко сравнимым показателем приемника и глаза является их чувствительность.

Чувствительность человеческого глаза определена очень точно. Как известно, чувствительность глаза зависит от общей освещенности. Днем, на солнечном свету,

мы не видим, например, огонька горящей папиросы, а безлунной ночью его можно различить за полкилометра. Наибольшую остроту наше зрение приобретает после пребывания в темноте не менее 20—30 минут. Эта степень остроты называется сумеречным зрением. Если нам случится войти в кинотеатр во время сеанса, то мы чувствуем себя совершенно беспомощными и вынуждены передвигаться ощупью, поминутно натываясь на стулья и зрителей. Но через некоторое время мы уже без труда различаем даже мелкие предметы и свободно читаем, например, газетные заголовки.

Достигнув остроты сумеречного зрения, наш глаз реагирует на освещенность зрачка порядка  $10^{-6}$  люкса. Если такую освещенность выразить в электрических единицах, то получается, что она соответствует электромагнитному полю интенсивностью около  $1,5 \cdot 10^{-12}$  вт/м<sup>2</sup>.

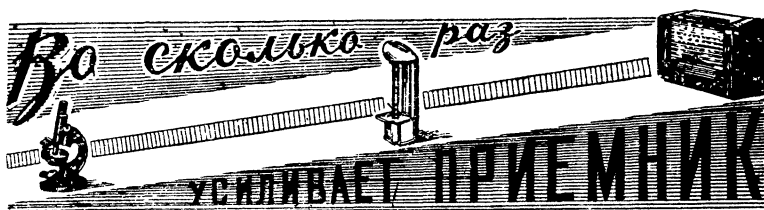
Какова же чувствительность радиоприемника? По стандарту чувствительность приемников I класса должна быть не меньше 50 микровольт. Учитывая действующую высоту средней приемной радиовещательной антенны, будем считать, что такая э.д.с. подводится к приемнику при напряженности в месте приема электромагнитного поля принимаемой станции порядка 10 микровольт/м. Удельная энергия такого поля равна  $1,3 \cdot 10^{-13}$  ватта.

Таким образом, радиовещательный приемник I класса примерно в 10 раз чувствительнее глаза. Но надо отдать должное глазу и отметить, что для того, чтобы приемник мог опередить глаз в отношении чувствительности, в приемнике приходится применять около десятка современных усилительных ламп, дающих общее усиление в миллионы раз.

Чувствительность профессиональных приемников выше чувствительности радиовещательных в десятки и даже в сотни раз.

Но, уступая приемнику в чувствительности, глаз неизмеримо превосходит его в отношении «принимаемого» диапазона частот. Глаз воспринимает частоты,  $4 \cdot 10^{14}$  —  $8 \cdot 10^{14}$  герц, т. е. воспринимает огромную полосу в  $4 \cdot 10^{14}$  герц (400 квадрильонов герц), тогда как вся полоса частот, используемая радиотехникой, охватывает частоты примерно  $10^5$  до  $3 \cdot 10^{10}$  герц, т. е. полосу, в миллиарды раз меньшую.

Наш глаз — исключительно широкополосный прибор.



Радиоприемник усиливает напряжение подводимых к его входу сигналов в огромное число раз. При приеме отдаленных станций напряжение на входе приемника составляет несколько десятков микровольт, а в анодной цепи его оконечной лампы развивается при таком сигнале переменное напряжение порядка 100 вольт, что соответствует усилению примерно в два миллиона раз.

Какими же частями приемника осуществляется это усиление?

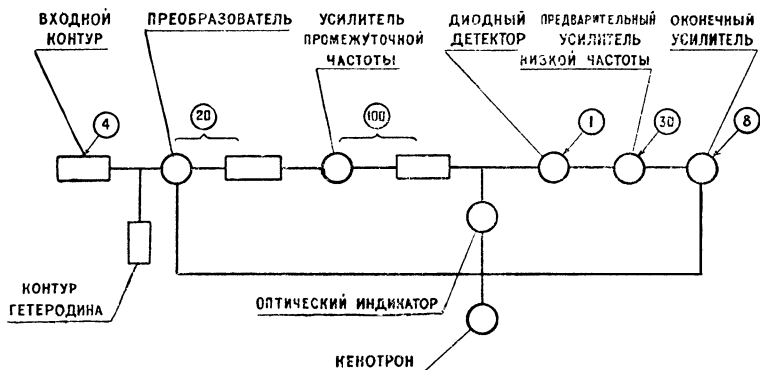
Усилительными элементами приемника являются его лампы, в которых усиление подводимого напряжения и создание усиленной мощности происходят за счет энергии анодной батареи, и колебательные контуры, в которых напряжение сигнала повышается благодаря их резонансным свойствам.

Но не все лампы и контуры приемника наиболее распространенного теперь супергетеродинного типа участвуют в усилении сигналов. Кенотрон и оптический индикатор настройки не принимают участия в усилении. Не усиливают и диодная детекторная лампа, контуры гетеродина и гетеродинная лампа, если ее функции в приемнике выполняет отдельная лампа.

Но и принимающие участие в усилении детали приемника вносят свой пай в общее усиление далеко не в равной степени. Мало усиливает преобразовательная лампа, еще меньше — оконечная. Наибольшее усиление дает лампа-усилитель промежуточной частоты.

Примерное распределение усиления показано на рисунке, где кружками изображены лампы, а квадратиками — колебательные контуры. По типу этот приемник является супергетеродином II класса. Цифры, стоящие около ламп и контуров, указывают величину усиления. Цифра 1 означает, что данная деталь не принимает участия в усилении. Из числа имеющихся в приемнике колебательных контуров только входной контур дает уси-

ление по напряжению. В остальных ступенях, имеющих колебательные контуры, усиление получается вследствие совместного действия ламп и контуров.



Два миллиона раз — это далеко не предельное усиление приемника. Но и такое усиление трудно с чем-нибудь сравнить. Ведь лучший микроскоп увеличивает всего в тысячу раз, и даже могущественнейший современный электронный микроскоп, позволяющий разглядеть крупные молекулы, увеличивает примерно в 100 000 раз.

Шумы — внешние и внутренние — являются настоящим «бичом» радиоприема. Они кладут фактический предел чувствительности радиоприемников.

Ну, а каких же величин чувствительности все же удается достигнуть в приемниках?

Чувствительность, предусматриваемая государственным стандартом для радиовещательных приемников I класса, составляет 50 микровольт. Фактическая чувствительность этих приемников бывает несколько выше и колеблется в пределах примерно 20—50 микровольт. Лучшие профессиональные приемники имеют чувствительность порядка 1—10 микровольт. Судя по опубликованным данным, наивысшей чувствительностью обладал приемник радиолокационной станции, посылавшей сигналы на Луну. Его чувствительность составляла около 0,1 микровольта.

Исключительной чувствительностью обладают приемники радиотелескопов. Они способны принимать сигналы, напряженность поля которых составляет 0,08 микро-

вольта на метр, что эквивалентно удельной энергии  $10^{-17}$  ватта на кв. метр. Такую удельную энергию создала бы в Москве лампочка от карманного фонаря, горящая во Владивостоке.



Применяя каскады с лампами в тех или иных комбинациях и в том или ином количестве, можно как будто осуществить сколь угодно большое усиление. Стоит, например, к схеме, приведенной на стр. 137, добавить один каскад усиления низкой частоты, чтобы общее усиление увеличилось в 10 раз и достигло, предположим, не 2, а 20 млн. раз. При таком усилении можно, повидимому, принять сигналы, в 10 раз более слабые. А если вместо усилителя низкой частоты прибавить усилитель промежуточной частоты, то усиление возрастает уже не в 10, а в 100 раз, и приемник должен будет принимать совсем слабые сигналы, допустим в 1 микровольт.

Есть ли в этом отношении какие-либо пределы?

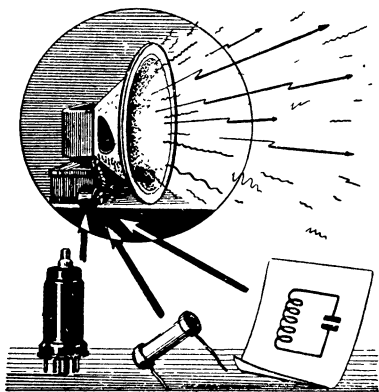
Пределы есть. Они ограничивают чувствительность приемников и не позволяют в полной мере использовать возможности, которые дает электронная лампа.

Первая ограничивающая причина заключается в том, что чем больше усиление приемника, тем менее устойчива его работа, тем легче приемник самовозбуждается. Борьба с самовозбуждением представляет значительные трудности и осуществляется несколькими способами, например: правильным расчетом усилителей высокой частоты, экранированием и целесообразным размещением ламп и деталей схемы, и т. п. Нередко это приводит к необходимости сильного усложнения монтажа и ввода в схему так называемых развязывающих фильтров. При увеличении чувствительности приемника опасность самовозбуждения возрастает, так как чем больше усиление, тем меньшей величины связи между каскадами и цепями достаточно для возникновения самовозбуждения.

Вторая и, пожалуй, наиболее трудно преодолимая причина состоит в собственных шумах приемника. «Шумят» сами лампы (см. стр. 70). Для увеличения чувствительности приходится применять больше ламп, но каждая лампа усиливает шумы всех предшествующих ламп и, кроме того, сама является источником дополнительных шумов.

Многие другие детали приемников тоже представляют собой источники шумов. Например, сильно «шумят» сопротивления, причем не только неметаллические (углеродистые), но даже самые лучшие проволочные. Установлено, что беспорядочное тепловое движение электронов внутри проводников создает на их концах некоторую разность потенциалов. Вследствие хаотичности теплового движения электронов создаваемое ими напряжение непрерывно изменяется как по величине, так и по знаку. Это переменное напряжение содержит все звуковые частоты от самых низких до самых высоких и на выходе приемника сказывается в виде шума. Так как тепловое движение электронов с повышением температуры ускоряется, то вместе с этим увеличиваются и шумы.

Казалось бы, что уменьшить шум, вносимый сопротивлениями, можно, стараясь не применять их во входных каскадах, где появление шумов наиболее опасно, так как они усиливаются всеми последующими каскадами. Но, к сожалению, заметными источниками шумов являются и колебательные контуры, без которых входные каскады приемников не могут обойтись. Сопротивление проводов колебательного контура постоянному току очень мало, но напряжение шумов, возникающее на зажимах контура, пропорционально его резонансному сопротивлению, а не сопротивлению постоянному току. Физически это можно объяснить так: шумы создаются благодаря тепловому движению электронов в проводе, а следовательно, э.д.с.





шумов, возникающих в контуре, зависит от величины сопротивления катушки постоянному току. Но благодаря резонансным свойствам контура все действующие в нем э.д.с., а значит, и э.д.с. шумов усиливаются во много раз. Они усиливаются тем больше, чем лучше контур. А так как эта же причина приводит к увеличению резонансного сопротивления контура, получается, что источником шумов является как бы резонансное сопротивление контура.

На длинных волнах сопротивление катушки контура постоянному току составляет в худшем случае всего несколько омов, а резонансное сопротивление контура имеет обычно величину от 80 до 300 килоомов. На таком контуре напряжение шумов может достигать 3—5 микровольт. Значит, даже при полном отсутствии внешних помех, только одни шумы входного контура не дадут возможности принять сигналы, создающие напряжение такого же порядка.

Наконец, надо иметь в виду, что в самой антенне тоже возникают шумы, поступающие на вход приемника вместе с принимаемым сигналом.



Тепловые шумы, создаваемые входным контуром, ограничивают возможность повышения чувствительности приемника (см. стр. 139). Чем больше резонансное сопротивление контура, тем больше и создаваемые им шумы. Напрашивается естественная мысль: уменьшить резонансное сопротивление контура, а вместе с тем и шумы. Для этого нужно применить контур худшего качества, с худшей добротностью. Казалось бы, что выход этот очень прост и легко осуществим, — ведь всегда легче сделать плохой контур, чем хороший.

Однако такое решение было бы поспешным и неправильным. Нельзя забывать о том, что входной контур не

только порождает вредные шумы, но также одновременно повышает напряжение принятого сигнала. В этом состоит одно из его главных назначений.

Для чувствительности приемника большое значение имеет то, во сколько раз повышается напряжение сигнала во входной цепи благодаря ее резонансным свойствам. Величина повышения этого напряжения называется коэффициентом передачи входной цепи. Чем больше коэффициент передачи, тем больше будет напряжение сигнала на сетке первой лампы. Но коэффициент передачи  $K$  прямо пропорционален добротности  $Q$  входного контура:

$$K = aQ,$$

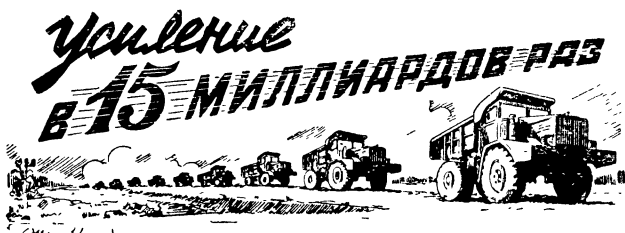
а шумы контура  $U_{ш}$  — пропорциональны корню квадратному из добротности, т. е.

$$U_{ш} = v\sqrt{Q}.$$

Таким образом, как бы ни возрастало резонансное сопротивление контура, это все равно оказывается выгодным, так как полезный сигнал увеличивается при этом больше, чем вредные шумы, и соотношение между напряжениями сигнала и шума улучшается. Если, например, при напряжении шумов контура 5 микровольт напряжение сигнала на сетке составляет 10 микровольт, то соотношение сигнал-шум равняется  $10 : 5 = 2$ .

Улучшив добротность контура в 2 раза, мы увеличим его собственные шумы в 2 раза, и они станут равны  $5\sqrt{2} \approx 7$  микровольт. Но сигнал такой же силы даст при этом на сетке лампы напряжение, вдвое большее, чем раньше, т. е.  $10 \cdot 2 = 20$  микровольт. Соотношение сигнала к шуму стало равно  $20 : 7 = 2,82$ , т. е. почти в полтора раза больше. Качество приема от этого улучшится.

Поэтому никак не следует опасаться ухудшения приемника из-за применения на его входе хороших колебательных контуров. Наоборот, чем лучше эти контуры, тем лучше работает входная система приемника. Что же касается контуров, используемых в следующих каскадах — в усилителях высокой и промежуточной частоты, то в этих элементах приемника шумы, возникающие в контурах, вообще не имеют практического значения.

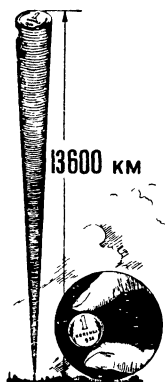


Собственные шумы ограничивают чувствительность радиоприемников, но все же даваемое ими усиление велико. Усиление в два миллиона раз нормально для среднего приемника (см. стр. 137). Но ведь приемники в конце концов созданы не для того, чтобы усиливать напряжение. Мы оцениваем приемники не по напряжению на выходе, а по выходной мощности. Нас интересует, какую мощность звуковой частоты отдает приемник.

В результате воздействия на антенну радиоволн принимаемой станции приемник получает от антенны определенную мощность, которая затрачивается на создание на входном сопротивлении приемника некоторого напряжения. Если приемник не получал бы от антенны никакой мощности, то на его входном контуре не возникало бы напряжение.

Средняя радиослушательская антенна, в том случае, когда в ней действует э.д.с. 100 микровольт, может передать приемнику в самом лучшем случае не больше  $10^{-11}$  ватт. Приемники II класса имеют выходную мощность не менее 1,5 ватт. Таким образом, мощность  $10^{-10}$  ватт, поступившая из антенны в приемник, усиливается им до 1,5 ватт т. е. в 15 миллиардов ( $15 \cdot 10^9$ ) раз.

Усиление приемника по напряжению, измеряемое миллионами, бледнеет перед этой огромной цифрой. Что такое 15 миллиардов? Возьмем копейку — маленькую металлическую монетку достоинством в одну копейку. Она весит равно 1 г. 15 миллиардов таких копеек составят сумму 150 миллионов рублей и будут весить 15 000 тонн. Наша автопромышленность выпускает сверхмощные грузовики грузоподъемностью 25 тонн — знаменитые



минские самосвалы. Для перевозки 15 миллиардов копеек потребуется колонна из 600 таких грузовиков. На 9 км растянется по шоссе эта колонна. Если 15 миллиардов копеек положить друг на друга, то получится «столбик» высотой 13 600 км.

Вот что значит 15 миллиардов. На такое колоссальное усиление мощности способен наш скромный радиоприемник за счет, разумеется, той энергии, которую он черпает из источников питания. Более мощные приемники при приеме станций, создающих поле меньшей напряженности, дают усиления еще в десятки и сотни раз большие. Трудно найти подходящее сравнение для таких усилений.



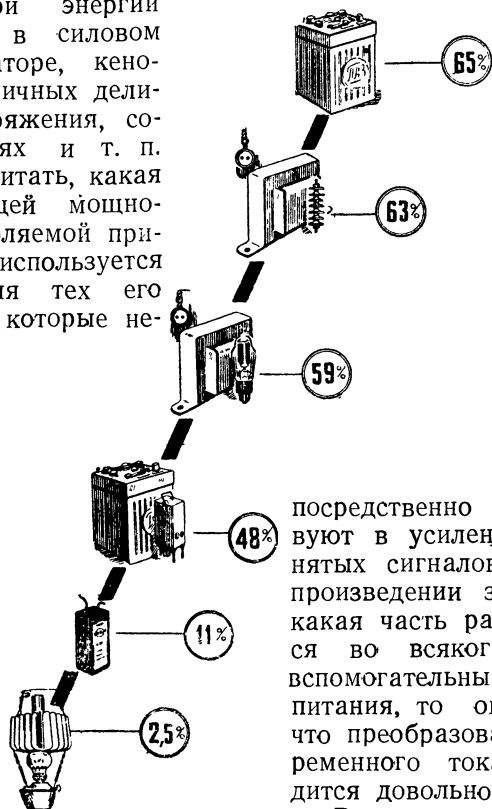
Из всех видов электропитания радиоаппаратуры наиболее дешевым и удобным является питание от осветительной сети. Объясняется это тем, что электроэнергия осветительной сети во много раз дешевле энергии, получаемой от других источников питания — аккумуляторов, гальванических батарей и пр.

Питание приемника от сети переменного тока отличается большой гибкостью. Оно позволяет получить в приемнике любые напряжения переменного и постоянного тока, необходимые для питания ламп.

При конструировании приемника обычно стараются выбрать для ламп экономичный режим, позволяющий получить нужные параметры при наименьшем потреблении энергии. Об экономичности приемника судят по соотношению между потребляемой мощностью питания и отдаваемой электрической мощностью звуковой частоты. Однако далеко не вся энергия, получаемая от источников питания, используется непосредственно для работы ламп, для подмагничивания громкоговорителя, для питания осветительных лампочек и прочих «полезных» элементов

схемы. Значительная часть ее уходит на вспомогательные цели, связанные с преобразованием получаемой энергии в нужные нам виды, т. е. в постоянное напряжение нужной величины.

Например, в приемнике с сетевым питанием неизбежные потери энергии происходят в силовом трансформаторе, кенотроне, различных делителях напряжения, сопротивлениях и т. п. Если подсчитать, какая часть общей мощности, потребляемой приемником, используется для питания тех его элементов, которые не-



посредственно участвуют в усилении принятых сигналов и воспроизведении звука, и какая часть расходуется во всякого рода вспомогательных цепях питания, то окажется, что преобразование переменного тока обходится довольно дорого.

Введем для этого новый показатель — коэффициент использования энергии — к.и.э. Величина этого коэффициента для приемников с разными способами питания представляет большой интерес.

Для сетевых приемников в зависимости от схемы питания к.и.э. составляет обычно 40—65%. Меньшее число — 40% — относится к случаю, когда приемник с бестрансформаторной схемой питания, рассчитанной на напряжение сети 127 вольт, приходится включать в сеть

напряжением 220 вольт через вольтогасящее сопротивление, в котором значительная мощность расходуется просто на нагрев этого сопротивления, т. е. совершенно непроизводительно.

Схема приемника с питанием от аккумуляторов может быть построена так, что вся потребляемая от них энергия используется непосредственно по прямому назначению, но здесь потери происходят по другой причине: вследствие неполного использования в аккумуляторе энергии, затраченной на его зарядку. В конечном счете и здесь величина к.и.э. далека от 100%.

При питании от батарей величину к.и.э. определяет степень использования энергии, которую мог бы дать цинк, если бы удалось полностью использовать его электрохимические свойства. Пока используемая часть электрохимической энергии остается очень небольшой.

В следующей ниже таблице приведены значения к.и.э. для приемников наиболее характерных типов с разными способами питания.

Тип приемника	Способ питания	К. и. э., проценты
„Балтика“	Сеть переменного тока (трансформаторная схема питания с кенотронным выпрямителем)	59
„Москвич“	То же с селеновым выпрямителем	63
„Рекорд-47“	Сеть переменного или постоянного тока 127 вольт (бестрансформаторная схема)	60
	То же при сети 220 вольт	40
„Родина“	Аккумуляторы кислотные (для цепей накала и анода)	65
	Аккумулятор с вибропреобразователем	48
	Сухие батареи	11
	Термогенератор с вибропреобразователем (керосиновая лампа для нагрева)	2,5

Приводимые цифры не являются абсолютно точными для всех случаев; они дают лишь порядок величины к.и.э. для разных способов питания.

Самый низкий к.и.э. получается при питании от сухих батарей и особенно от термогенератора, где лишь ничтожная часть тепловой энергии керосина расходуется на создание электроэнергии, а вся остальная энергия превращается в тепло и свет.

Какое значение имеют работы в области повышения экономичности питания радиоприемников? В недалеком будущем число радиоприемников в нашей стране дойдет до 10 миллионов. Подавляющее большинство их будет, очевидно, с сетевым питанием. Если принять в среднем мощность питания приемника 50 ватт, то для питания такого парка приемников потребуется мощность электростанций в 500 000 киловатт, т. е. почти равная мощности Днепрогэса.

При таких цифрах уже каждые несколько процентов повышения к.и.э. приобретают существенное значение.



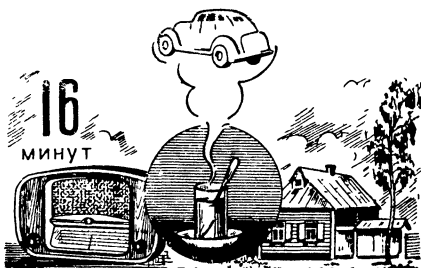
Радиоприемник второго класса вроде, например, «Балтики» потребляет от осветительной сети около 70 ватт. В сравнении с большинством других распространенных электроприборов — плиток, чайников, утюгов, холодильников — эта энергия невелика. Только разве паяльники до небольшие лампы потребляют меньше.

А хватит ли силы у человека питать такой приемник?

Установлено, что человек при сравнительно длительной работе способен развить мощность около одной десятой лошадиной силы. Так как одна лошадиная сила в переводе в электрические единицы равна 736 ваттам,

то выходит, что человек может в нормальных условиях развить мощность около 75 ватт—столько, сколько надо для питания приемника второго класса.

В научно-популярной литературе можно найти сопоставление того количества энергии, какое теряет в виде тепла стакан остывающего чая, с той работой, которую это количество энергии может произвести. Подобное сопоставление приводит обычно к неожиданным результатам.



Действительно, один стакан чая емкостью  $200 \text{ см}^3$  ( $0,2 \text{ л}$ ), остывая от  $100$  до  $20^\circ \text{ С}$  (до комнатной температуры), т. е. на  $80^\circ \text{ С}$ , теряет

$$0,2 \cdot 80 = 16 \text{ килокалорий.}$$

Так как килокалория эквивалентна 427 килограммометрам, то 16 килокалорий могут совершить работу, равную

$$16 \cdot 427 = 6\,832 \text{ килограммометрам.}$$

Результат поражающий. Широко распространенный у нас автомобиль «Москвич» весит 830 кг. Будем считать, что вместе с четырьмя пассажирами он весит 1 100 кг. Значит, за счет энергии остывающего стакана чая автомобиль «Москвич» вместе с четырьмя взрослыми пассажирами можно поднять на высоту

$$6\,832 : 1\,100 = 6,2 \text{ м,}$$

т. е. на крышу одноэтажного дома. Неудивительно, что пример этого рода в одной из книг Я. Перельмана озаглавлен «Невидимый богатырь в стакане чая».

Однако посмотрим, как долго этот «богатырь» сможет питать нашу «Балтику».

1 килограммометр эквивалентен  $2,72 \cdot 10^{-3}$  ватт-часа, или  $2,72 \cdot 60 = 163,2 \cdot 10^{-3}$  ватт-минут. Следовательно, 6,832 килограммометра дадут:

$$163,2 \cdot 10^{-3} \cdot 6\,832 = 1\,115 \text{ ватт-минут.}$$



Так как мощность, потребляемая «Балтикой», равна 70 ваттам, то

$$1115 : 70 = 16 \text{ минут.}$$

«Богатырь», могущий зашвырнуть «Москвича» с седоками на крышу дома, сможет питать приемник в течение всего лишь 16 минут, после чего его сила, порожденная стаканом остывшего чая, совершенно иссякнет.



Радиоприемник можно рассматривать как устройство, преобразующее один вид энергии в другой. Приемник потребляет от источников питания электрическую энергию, а его «продукцией» является звуковая энергия — энергия колеблющихся частиц воздуха. Каков же к.п.д. (коэффициент полезного действия) радиоприемника? Какую часть полученной энергии приемник превращает в звук и сколько ее растрчивает непроизводительно?

Увы! К.п.д. радиоприемника весьма низок. Трудно найти какое-нибудь другое современное техническое устройство, имеющее такой же низкий к.п.д.

Сравнительно более высокий к.п.д. имеют батарейные приемники. Питание от батарей стоит дорого, поэтому конструкторы принимают все меры для того, чтобы увеличить экономичность батарейных приемников. Хороший современный батарейный приемник вроде, например, приемника «Родина», потребляет от батарей около 1 ватта и отдает громкоговорителю в виде энергии переменного тока звуковой частоты около 0,15 ватт. Таким образом, к.п.д. его электрического тракта составляет примерно:

$$\frac{0,15 \cdot 100}{1} = 15\%.$$

Если бы громкоговоритель превращал в звук всю получаемую им электрическую энергию, то к.п.д. такого приемника был бы довольно высок. 15% — это не такой

уж плохой к.п.д. Как видно из помещенной ниже таблицы, у паровозов к.п.д. вдвое меньше.

Но, к сожалению, громкоговоритель превращает в звук крайне малую часть получаемой им энергии — всего лишь около 1%, т. е. отдаваемая громкоговорителем звуковая мощность раз в сто меньше получаемой им электрической мощности. В результате полный к.п.д. батарейного радиоприемника вместе с громкоговорителем в лучшем случае достигает 0,15% — пятнадцати сотых процента.

Интересно отметить, что в этом отношении к.п.д. человека примерно одинаков с к.п.д. современного громкоговорителя. Когда человек говорит или поет, в звук превращается лишь около 0,01 той энергии, которая затрачивается на приведение в движение голосовых связок, т. е. к.п.д. наших голосовых органов тоже около 1%. К.п.д. большинства музыкальных инструментов еще раз в десять меньше. Музыкальные инструменты преобразуют в звук лишь тысячные доли энергии, затраченной на приведение их в действие.

Вернемся, однако, к радиоприемникам. К. п. д. 0,15% приходится считать для приемника прекрасным. Подобным к.п.д. могут похвастаться только немногие лучшие батарейные приемники. К.п.д. сетевых приемников еще в несколько раз меньше. В этом отношении блестящим приемником может считаться «Рига-10». Этот мощный десятиламповый приемник 1-го класса потребляет от сети всего 85 ватт — практически почти столько же, сколько шести-семиламповые приемники 2-го класса. Но и у этого, исключительного по своей экономичности приемника к.п.д. составляет всего 0,045% — в 3 раза меньше, чем у хороших батарейных.

Вот величина к.п.д. некоторых наших радиоприемников.

Трудно наглядно представить себе, сколь малы эти величины к.п.д., поэтому стоит проиллюстрировать их примером. Предположим, что у нас есть

Приемник	К. п. д., проценты
„Родина“ (батарейный)	0,15
Б-912	0,1
„Тула“	0,09
„Москвич“ (сетевой)	0,01
„Рекорд“	0,02
„Восток“	0,02
„Мир“	0,035
„Рига-10“	0,045

приемник «Урал», которым мы пользуемся по 3 часа в день. Этот приемник потребляет от сети примерно 80 ватт при приеме радиостанций. Энергия, нужная для его питания в течение 3 часов составит:

$$80 \cdot 3 = 240 \text{ ватт-часов, или } 2,4 \text{ гектоватт-часа.}$$

При стоимости электроэнергии 4 копейки за гектоватт-час питание приемника в сутки составит:

$$2,4 \cdot 4 = 9,6 \text{ коп.}$$

Питание в течение года обойдется в

$$9,6 \cdot 365 = 3504 \text{ коп} \approx 35 \text{ руб.}$$

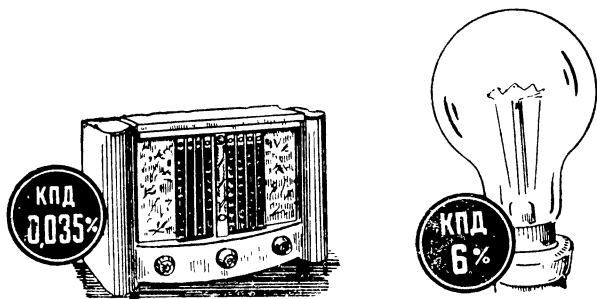
К.п.д. такого приемника, как «Урал», не выше 0,02%. Поэтому стоимость той части потребляемой приемником энергии, которая превращается в звук, составит:

$$\frac{3500 \cdot 0,02}{100} = 0,7 \text{ коп.}$$

Из тех 35 рублей, которые мы платим за питание приемника в течение года, лишь 0,7 копейки, т. е. меньше одной копейки, составляют оплату за полезную «продукцию» приемника — за звук.

А за что же мы платим остальные 34 руб. 99,3 коп.?

Положите руку на работающий приемник. Он теплый. Электроэнергия превращается им в тепло. Из об-



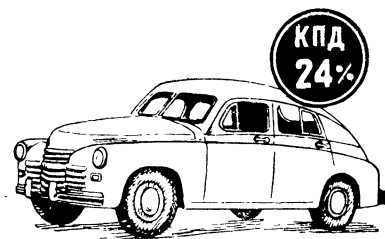
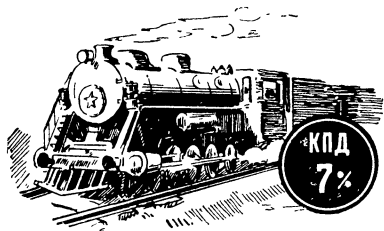
щей суммы 35 руб. мы только 0,7 коп. платим «за звук», а 34 руб. 99,3 коп. платим за обогревание комнаты.

Приведем для сравнения к.п.д. нескольких общеизвестных приборов и машин:

Прибор	К. п. д., %
Радиоприемник (в среднем) . . . . .	0,02
Электрическая осветительная лампа в 15 ватт . . . . .	6
Люминесцентная лампа (лампа дневного света) в 15 ватт . . . . .	18
Паровоз (в среднем) . . . . .	7
Автомобиль „Победа“ . . . . .	24
Электрический трансформатор большой мощности . . . . .	99

Как видим электроосветительная лампа, считающаяся образцом непроизводительной траты энергии, имеет по сравнению с радиоприемником огромный к.п.д., превосходящий к.п.д. приемника в 300 раз.

Но не будем слишком суровы по отношению к радиоприемнику. У него есть собратья по малому значению к.п.д. Возьмем, например, взрывные работы. Каков их к.п.д., т. е. каково отношение той части энергии, которая совершила полезную работу, ко всей развиваемой взрывчатым веществом энергии?



К.п.д. взрывных работ тоже очень мал. Он колеблется в пределах примерно 0,1—0,5%, в лучших случаях достигая 1%. Взрывы очень эффектны и производят весьма впечатляющее действие, но к.п.д. их, как и к.п.д. радиоприемника, оставляет желать лучшего.



Как только что было показано, радиоприемник с полным правом может претендовать на одно из первых мест среди электрических приборов, отличающихся крайне низким к.п.д. Небезинтересно проанализировать, как распределяется расход энергии по отдельным элементам приемника. Сделаем это на примере приемника «Балтика», который является довольно типичным приемником второго класса.

Полезную электрическую мощность мы получаем только в громкоговорителе; она составляет около 1,5 ватт. Вся остальная мощность, потребляемая приемником от осветительной сети—около 65 ватт, расходуется в приемнике нерационально и выделяется в виде тепла. Правда, не вся эта энергия пропадает совершенно бесцельно. Это относится, например, к лампочкам, освещающим шкалу. Хотя никакой полезной работы они и не производят, но все же способствуют удобству обращения с приемником. А ведь они потребляют около 12% всей мощности!

В какой-то мере оправданы и затраты энергии на разогрев катодов. За счет этой энергии электроны получают возможность покинуть катод и создать нужный для работы лампы электронный поток. Цепи накала представляют собой один из основных потребителей электроэнергии — на них затрачивается около 30% всей мощности, потребляемой приемником.

Но уж совсем бесполезно пропадает мощность, рассеиваемая в виде тепла на анодах ламп. Эти электроды оказываются, как это ни странно, весьма прожорливыми: на их разогрев затрачивается почти 30% всей мощности—лишь немного меньше, чем на нагрев катодов. При этом ничего, кроме вреда для лампы, этот бесполезный нагрев не приносит. Нагретые аноды создают опасность выделе-

ния поглощенных металлом газов, которые крайне вредны для лампы и могут привести к ее порче.

Значительно меньшим аппетитом обладают цепи экранирующих сеток: в них расходуется всего около 6% общего количества энергии, причем 4% идет опять-таки на бесполезный и вредный нагрев самих экранирующих сеток, а 2% теряется в гасящих сопротивлениях.

Самым скромным оказывается выходной трансформатор, которому иногда незаслуженно приписывают роль крупного потребителя мощности. В нем теряется всего лишь около 1% всей потребляемой приемником электроэнергии. При таком незначительном потреблении этот трансформатор даже не может сколько-нибудь заметно нагреться.

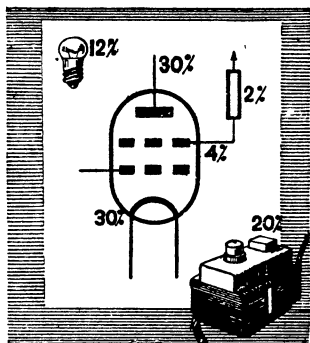
Остается упомянуть о последнем «бесполезном» потребителе—силовом трансформаторе, в котором расходуется весьма солидная часть всей энергии—порядка  $\frac{1}{5}$ , т. е. 20%. Кроме вреда для самого трансформатора, эта энергия ничего не создает.

Можно, конечно, много говорить о бесполезном расходе энергии в приемнике, но трудно предложить радикальные пути к сокращению этого расхода, осуществимые при современном уровне техники. Многое можно сделать путем повышения экономичности катодов, создания конструкций с большей удельной эмиссией. Но наиболее реальным путем экономии сейчас является, пожалуй, переход на бестрансформаторную схему питания приемников, которая легче всего может быть применена в простых малоламповых приемниках. Это вполне возможно при условии разработки серии специальных ламп, рассчитанных на питание цепей накала без трансформатора.

Экономия в электроэнергии путем исключения силового трансформатора составит довольно значительную величину.

Замена кенотрона полупроводниковым выпрямителем, не требующим затраты мощности на накал катода, также даст существенную экономию.

Если учесть, что в ближайшие годы ежегодный выпуск



приемников этого класса составит, повидимому, цифру не менее 2 миллионов шт., то легко подсчитать, что экономия от такого мероприятия дает около 50 миллионов киловатт-часов электроэнергии в год! А если к этому прибавить экономии сотен тонн медного провода и трансформаторной стали, то станет совершенно очевидной целесообразность такого решения вопроса.

Этим, разумеется, нельзя удовольствоваться. Вопрос об уменьшении бесполезных затрат электроэнергии в радиоприемнике будет еще многие годы стоять перед инженерами и учеными, и можно не сомневаться, что в этом направлении будут достигнуты крупные успехи.

Широкие перспективы открывает в этом отношении использование вместо ламп кристаллических триодов (см. стр. 239). Так, например, очень экономичный ламповый усилитель, работающий в портативных слуховых усилителях для тугоухих, потребляет около 180 милливатт (из них только для питания цепи накала расходуется 90 милливатт), отдавая на выходе 10 милливатт, т. е. он имеет к.п.д. около 6%. Такой же усилитель на кристаллических триодах потребляет около 165 милливатт, отдавая при этом электрическую мощность 60 милливатт, т. е. он имеет в 6 раз больший к.п.д.—порядка 38%.



Выходная мощность радиовещательных приемников колеблется в пределах от 0,15 ватта у самых простых батарейных до 4—5 ватт у сетевых приемников 1-го класса. А какая же мощность в действительности нужна для того, чтобы радиопередача была громко слышна в жилых комнатах обычных размеров?

Громкость — понятие довольно условное и зависящее от индивидуальных вкусов. Одни любят слушать так,

чтобы громкость была только-только достаточна для полной разборчивости при условии соблюдения в комнате тишины, другие не признают приема, иначе как при полностью выведенном регуляторе громкости.

Наиболее полно обследован вопрос о величине электрической звуковой мощности, нужной для хорошего озвучения помещений разной кубатуры, в звуковом кино. Но, естественно, все справочные данные в этой области всегда относятся к большим помещениям и выражаются в ваттах на кубический метр объема зала. Если пересчитать эти данные применительно к размерам, какие имеют обычные жилые комнаты, и отнести их для лучшей наглядности не к объему, а к площади (считая, что в среднем высота комнаты равна 3,5 м), то получится следующая таблица.

Площадь комнаты, кв. метры	Мощность, подводимая к громкоговори- телю, ватты
5	0,15
10	0,3
15	0,4
20	0,5
25	0,6
30	0,7

Громкость, соответствующая приведенным в этой таблице величинам мощности, такова, что будет заглушать разговор. Чтобы разговаривать, когда приемник работает с такой громкостью, придется повышать голос.

Для сравнения можно указать, что звуковая мощность, развиваемая обычным граммофоном при проигрывании пластинки средней громкости, составляет в пересчете на ватты около 0,2 ватта. Надо подвести к громкоговорителю 0,2 ватта, чтобы получить такую же громкость, какую развивает граммофон. Мощность человеческого голоса при разговоре с нормальной громкостью в таком же пересчете составляет около 0,001 ватта.

Эти цифры показывают, насколько велик у всех наших радиоприемников «запас» мощности. Уже мощность приемников 3—4-го классов вполне достаточна для самых больших жилых комнат.





Существует очень распространенный способ проверки исправности низкочастотной части приемника — прикосновение пальцем к управляющей сетке первой лампы усиления низкой частоты (или к сетке детекторной лампы в приемниках прямого усиления). Если усилитель исправен, то при таком прикосновении из громкоговорителя раздается громкое гудение низкого тона, напоминающее рев.

Этим способом широко пользуются все радиолюбители. При каждой неисправности приемника рука прежде всего автоматически тянется к гнезду входа звуко-снимателя. «Заревет» приемник — значит произошло повреждение в высокочастотных каскадах, не «заревёт» — значит неисправна низкочастотная часть либо на лампах нет напряжения.

Но не каждый, пользующийся таким способом проверки приемника, отдает себе отчет, почему прикосновение к выводу сетки вызывает гудение. Ведь для того, чтобы громкоговоритель воспроизвел какой-то звук, надо, чтобы ко входу усилителя было приложено напряжение соответствующей частоты. Какое же напряжение и какой частоты подводим мы к усилителю, прикасаясь пальцем к его входу?

Возможно, что иные удивятся, узнав, что, прикасаясь пальцем ко входу усилителя, мы тем самым подводим к нему часть напряжения осветительной сети. Между тем это так.

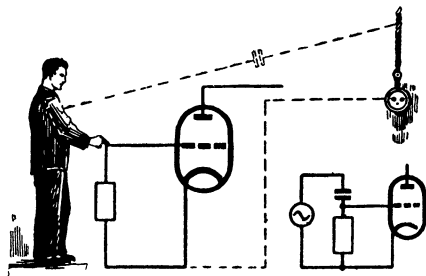
Между нами и осветительной сетью всегда есть некоторая емкость. Она может быть очень невелика, но тем не менее она оказывается достаточной для того, чтобы на сетку попало напряжение, способное после усиления заставить громкоговоритель звучать.

Попробуем подсчитать, какое напряжение окажется на сетке входной лампы усилителя, если емкость человека относительно осветительной сети напряжением 220 вольт составит всего одну пикофаряду.

Для переменного тока частотой 50 герц конденсатор в одну пикофараду представляет сопротивление около  $3 \cdot 10^9$  омов. Если сопротивление утечки сетки входной лампы равно 1 мегому, то напряжение сети окажется приложенным к делителю, составленному из двух сопротивлений:  $3 \cdot 10^9$  омов и  $1 \cdot 10^6$  омов. Сетка лампы присоединена ко второму—меньшему—плечу этого делителя и на ее долю придется три десятитысячные напряжения сети, т. е. около 0,07 вольта.

Такого напряжения вполне достаточно, чтобы заставить звучать громкоговоритель. Приемник получает от звукоснимателя напряжение порядка 0,1—0,2 вольта и при этом отдает свою полную мощность. Поэтому неудивительно, что при подведении примерно лишь вдвое меньшего напряжения звучание получается достаточно громким.

Следует учесть, что обычно значительно большая емкость, чем между телом и осветительной сетью, создается между телом и силовым трансформатором приемника и всеми токонесущими проводами. В этом случае с выпря-



мителя наводится еще напряжение второй гармоники переменного тока (100 герц), которое усиливается в еще большей степени.

Легко убедиться в том, что именно эта причина вызывает гудение громкоговорителя. Прикосновение ко входу усилителя низкой частоты батарейного приемника в некотором отдалении от осветительной сети не сопровождается привычным нам «ревом».

Таким образом, прикасаясь к сетке усилителя, мы включаемся в его схему, становясь одним плечом потенциометра осветительная сеть — земля.

# **Громкоговорящий прием** **ОТ ДЕТЕКТОРНОГО ПРИЕМНИКА**

Ни одна проблема не занимала так умы радиолюбителей, как проблема получения громкоговорящего приема от детекторного приемника. Детекторный приемник прост, дешев, не нуждается в источниках питания. Если бы он мог давать хотя бы мало-мальски достаточный прием на громкоговоритель, то лучшего приемника для сельских мест нечего было бы и желать.

Многие обстоятельства вселяют в радиолюбителей уверенность в возможности решения этой задачи. Если на хороший детекторный приемник принять местную радиовещательную станцию и вместо телефонных трубок присоединить к приемнику чувствительный громкоговоритель вроде, например, «Рекорда», то он работает так, что при соблюдении в комнате полной тишины поблизости от громкоговорителя радиопередача слышна довольно явственно. Достаточно, кажется, немного усовершенствовать приемник, детектор и громкоговоритель, чтобы получить «настоящий» громкоговорящий прием.

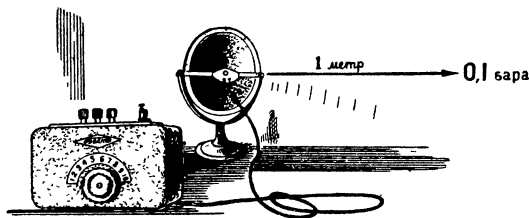
Разрешима ли эта задача?

Совершенно очевидно, что ответить на этот вопрос можно лишь, выяснив, какую минимальную мощность надо подвести к громкоговорителю для воспроизведения звуков с удовлетворительной громкостью и какую мощность в лучшем случае может получить приемник от антенны.

Громкость звука в технике принято определять в единицах звукового давления—барах (см. стр. 110). В стандарте на радиовещательные приемники установлена величина звукового давления в барах для приемников различных классов. Например, сетевые приемники I класса должны развивать на расстоянии 1 м от громкоговорителя звуковое давление не меньше 20 бар, II-го класса—10 бар, батарейные приемники 2-го и 3-го классов—не менее 3 бар и т. д. Наименьшее звуковое давление допускается у батарейных приемников 4-го класса—2,5 бара, а при особой экономичности приемника—даже 1,5 бара.

Таким образом, существующим стандартом определено, что самый маломощный радиоприемник должен развивать на расстоянии 1 м звуковое давление не менее 1,5 бара.

Допустим, что для детекторного приемника можно принять значительно пониженную норму, например в 15 раз меньшую. Признаем достаточным, если приемник будет развивать на расстоянии 1 м звуковое давление 0,1 бара. Эту норму можно в известной степени обосно-



вать. Такое звуковое давление соответствует громкости, с которой мы слышим собеседника, стоящего на расстоянии одного метра от нас и говорящего тихим голосом.

Подобная громкость является в некоторой степени минимальной для разборчивого понимания речи большинством людей. Если громкость еще уменьшить, то люди с несколько ослабленным слухом уже перестанут явственно разбирать речь.

Какую же мощность должен отдать приемник громкоговорителю, чтобы тот развил такое звуковое давление? Величина этой мощности зависит от к.п.д. громкоговорителя. Большинство современных громкоговорителей имеет к.п.д. порядка 1%. Будем ориентироваться на громкоговоритель с вдвое лучшим к.п.д., т. е. с к.п.д., равным 2%. Громкоговоритель с таким к.п.д. должен для создания обусловленного нами звукового давления получать от приемника около 150 микроватт электрической мощности.

Предположим, что в приемнике никаких потерь не происходит и он полностью передает громкоговорителю всю мощность, получаемую от антенны. Наибольшая величина мощности, которую приемная антенна может отдать приемнику, определяется как

(напряженность поля  $\times$  действующая высота антенны)<sup>2</sup>

$4 \times$  сопротивление потерь в цепи антенны

Антенну выберем хорошую — с действующей высотой 10 м и соответственно хорошее заземление. Расчет показывает, что такая антенна может отдать приемнику 150 микроватт лишь тогда, когда напряженность поля принимаемой станции будет не меньше 10—12 милливольт на метр.

Это очень большая напряженность поля. Такая напряженность может иметь место лишь в непосредственной близости от мощных передатчиков, например на расстоянии в несколько километров. Нормально приемник получает от антенны мощность, которая в десятки и сотни раз меньше. Теория и практика показывают, что в тех случаях, когда детекторный приемник дает хороший прием на телефонные трубки, получаемая им от антенны мощность едва достигает 1 микроватта, т. е. бывает в 150 раз меньше, чем надо для слабого громкоговорящего приема при условии полного отсутствия потерь в приемнике. Мощности, фактически получаемой детекторным приемником от антенны, недостаточно для создания нужного звукового давления, даже при к.п.д. громкоговорителя, равном 100 %, т. е. тогда, когда вся энергия, воспринятая антенной, будет без всяких потерь превращена в звук. Следует, кроме того, отметить, что все эти расчеты произведены для оптимального случая — для сигналов со стопроцентной глубиной модуляции.

Так обстоит дело с «энергетическим балансом» детекторного радиоприемника. Энергии, получаемой приемником от антенны, за исключением, может быть, случаев приема в самой непосредственной близости от передающей станции, недостаточно для минимально удовлетворительного громкоговорящего приема, даже при преобразовании всей получаемой энергии в звук.

Поэтому радиолюбителям надо направить свою изобретательность не на «выжимание» из детекторного приемника того, что он не может дать, а на конструирование возможно более экономичных усилителей, в особенности безламповых, например магнитных, кристаллических и др. Техника сегодняшнего дня предоставляет для этого широкие возможности.

Уже теперь можно строить очень небольшие по размерам и чрезвычайно экономичные приемники на полупроводниковых триодах. Атомные батареи уже в недалеком будущем могут сделать ненужными заботы о питании такого приемника.

# Двухтактное ДЕТЕКТИРОВАНИЕ



Одним из возможных решений задачи увеличения громкости работы детекторного приемника и даже получения от него громкоговорящего приема иногда считают применение двухтактного детектирования. Идея использования двухтактного детектирования привлекала и продолжает привлекать внимание тысяч радиолюбителей.

К этой идее их приводят несомненные выгоды, которые дает двухполупериодное выпрямление по сравнению с однополупериодным.

Аналогия с двухполупериодным выпрямителем рисует чрезвычайно соблазнительную перспективу использования «пропадающей» половины периода токов звуковой частоты, «срезаемой» однотоковым детектором.

Может ли дать хорошие результаты применение двухтактного детектирования?

Прежде всего посмотрим на обычно предлагаемую схему двухтактного детекторного приемника, которая приведена в заголовке. Эта схема по своей идее копирует схему двухполупериодного выпрямителя. Может ли она дать какое-либо увеличение громкости по сравнению с обычной?

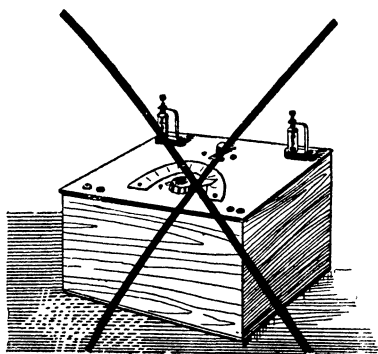
Конечно, нет. На концах колебательного контура развивается определенное напряжение высокой частоты. В обычных детекторных приемниках все это напряжение передается в детекторную цепь, присоединенную параллельно катушке контура. При двухтактном выпрямлении детекторная цепь в каждой половине периода оказывается присоединенной лишь к половине катушки и, естественно, получит лишь половинное напряжение. Очевидно, что две половинки не могут быть больше целого, поэтому от подобной схемы нельзя ожидать хороших результатов.

Но, конечно, дело не только в неудачной схеме. Можно придумать много схем, в которых это препятствие будет внешне обойдено. Например, можно присоединить двухтактную детекторную цепь к катушке с удвоенным числом витков, индуктивно связанной с контурной катушкой. Можно придумать множество разнообразных схем,

однако все они не дадут результатов, потому что дело здесь не в схеме, а в гораздо более глубоких причинах энергетического характера.

Процессы, происходящие при детектировании высокочастотных колебаний, нельзя полностью обобщать с выпрямлением переменного тока в силовых сетях. При выпрямлении переменного тока мы располагаем источником с практически неограниченной мощностью—осветительной сетью. Схема выпрямления позволяет нам с той или иной эффективностью использовать звено, связывающее выпрямитель с сетью, — силовой трансформатор. При двухполупериодном выпрямлении он передает энергию в течение всего периода, при однополупериодном — он половину периода работает вхолостую и энергия, которую он мог бы передать за это время, не используется.

Иные соотношения имеют место при детектировании. Для улучшения работы телефона надо передать из антенны в детекторный контур возможно большую мощность. Но мощность, которую может отдать антенна, ограничена и в каждом отдельном случае не может превзойти некоторой определенной величины. Наибольшая мощность будет передаваться тогда, когда вносимое в антенну сопротивление равно ее собственному сопротивлению (обычное для всех случаев условие передачи наибольшей мощности—сопротивление нагрузки равно сопротивлению источника). В частности, как уже указывалось, наибольшая получаемая от антенны мощность  $P_{\text{макс}}$  не может превзойти величины  $\frac{E^2}{4R_a}$ , где  $E$ —э.д.с., развиваемая сигналом в антенне и равная по величине произведению напряженности поля на действующую высоту антенны, а  $R_a$  — сопротивление антенны.

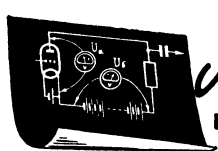


При однотоковом детектировании энергия отбирается от антенны в детекторную цепь в течение только одной половины периода, но и сопротивление, которое характеризует потребления энергии, будет вноситься.

в антенну тоже в течение только половины периода. Следовательно, связь детекторной цепи с контуром и контура с антенной надо подобрать так, чтобы действующее значение вносимого при этом сопротивления равнялось собственному сопротивлению антенны, причем под действующей величиной вносимого сопротивления надо понимать величину, эквивалентную такой, какая создавала бы нормальную нагрузку для антенны в течение двух половин периода. Говоря проще, мы подбираем в детекторном приемнике такую связь детекторной цепи с контуром и контура с антенной, при которой за полпериода от нее отбирается мощность, по величине равная наибольшей мощности, какую антенна может отдать за целый период. При правильно подобранной связи мы за одну половину периода отбираем у антенны наибольшую возможную часть имеющейся в ней энергии сигнала. Если растянуть этот отбор энергии на обе половины периода, то отбираемая в течение каждой половины энергии соответственно снизится.

Поэтому двухтактное детектирование в детекторном приемнике по причинам принципиального характера никакого выигрыша дать не может. Если же при экспериментировании иногда кажется, что двухтактное детектирование дает лучшие результаты, чем однокатное, то это объясняется просто тем, что связь при однокатном детектировании не обеспечивала получения от антенны наибольшего возможного количества энергии.

Так обстоит дело в детекторном приемнике. В ламповом приемнике двухтактное детектирование приводит к сильному снижению чувствительности и поэтому тоже оказывается невыгодным.



## **Анодное НАПРЯЖЕНИЕ** **и НАПРЯЖЕНИЕ на аноде**

Можно ли считать, что анодное напряжение и напряжение на аноде — одно и то же?

Говоря об анодном напряжении, обычно подразумевают напряжение источника питания анодных цепей приемника: выпрямителя или батареи. Напряжением же на



аноде называется напряжение, фактически действующее между анодом и катодом лампы.

В каком же отношении находятся между собой два этих напряжения и может ли напряжение на аноде быть меньше анодного напряжения, быть равно ему и быть больше него?

Может. В действующих приемниках напряжение на аноде лампы может быть меньше напряжения источника анодного питания, может быть таким же, как оно, и даже оказаться больше него.

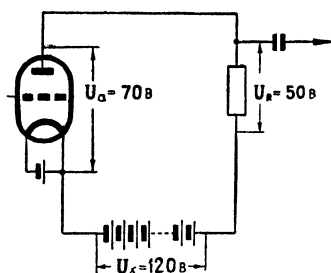
Нормально напряжение на аноде бывает меньше анодного. В анодной цепи лампы всегда имеется какая-либо нагрузка, через которую проходит анодный ток и в которой поэтому происходит падение напряжения. В усилителях на сопротивлениях это падение напряжения может быть очень большим и в соответствии с этим напряжение на аноде весьма малым.

Например, у ламп типа 6Г7 и 6Г2 при анодном напряжении 250 вольт напряжение на аноде обычно не превышает 100 вольт, а на анодах ламп 6Ж7 в каскадах усиления низкой частоты на сопротивлениях часто оказывается напряжение всего 50—70 вольт. Естественно, что при расчете усилителей приходится ориентироваться именно на эти фактически действующие величины напряжения на аноде.

Реже напряжение на аноде может сравняться с анодным напряжением. Почти равным анодному оно бывает в усилителях высокой частоты, где анодной нагрузкой служат колебательные контуры. Сопротивление контурной катушки постоянному току ничтожно, поэтому падение напряжения в нем можно не принимать во внимание и считать, что напряжение на аноде равно анодному напряжению.

Такое же совпадение обеих величин напряжения может иметь место в отдельные моменты времени и в усилителях на сопротивлениях. Во время работы каскада напряжения на сетке лампы изменяется. Вместе с ним изменяется и анодный ток, а следовательно, и падение напряжения на анодной нагрузке. Когда на сетке плюс, анодный ток увеличивается, а с ним увеличивается и падение напряжения на нагрузке, что приводит к уменьшению напряжения на аноде. Во время отрицательных полупериодов анодный ток уменьшается, а напряжение

на аноде возрастает. Если размах колебаний на сетке настолько велик, что при отрицательных полупериодах анодный ток спадает до нуля, то напряжение на аноде сравнивается с напряжением источника питания.



Наиболее странными кажутся случаи, когда напряжение на аноде превышает анодное напряжение. Однако такие случаи обычны в усилителях с анодной нагрузкой в виде низкочастотных трансформаторов или дросселей, в частности в оконечных каскадах, где нагрузкой является выходной трансформатор. При поступлении на сетку переменного напряжения анодный ток начнет изменяться с частотой сигнала: он будет то увеличиваться, то уменьшаться. Эти колебания вызовут появление на нагрузке (на первичной обмотке трансформатора) переменного напряжения, нужного для воздействия на громкоговоритель.

При отсутствии сигнала напряжение на аноде выходной лампы почти равно анодному, так как падение напряжения в трансформаторе незначительно. При наличии сигнала развивающееся на первичной обмотке трансформатора переменное напряжение складывается с постоянным напряжением источника питания: В течение одной половины периода эти два напряжения имеют одинаковый знак, в течение второй — обратный. Следовательно, в течение одной половины периода напряжение на аноде может превышать анодное напряжение. Фактически это превышение может быть очень значительным, например превышения на 100—150 вольт не являются редкими.

Как же физически объясняется появление этого добавочного напряжения?

Источником его является э.д.с. самоиндукции первичной обмотки трансформатора. При положительных полупериодах напряжения на сетке лампы э.д.с. самоиндукции противодействует увеличению тока — направление ее противоположно напряжению источника анодного питания и фактическое напряжение на аноде уменьшается. При отрицательных полупериодах э.д.с. самоиндукции по

знаку совпадает с напряжением батареи или выпрямителя и складывается с ним.

Энергия, нужная для создания добавочной э.д.с., запасается в магнитном поле, создаваемом вокруг катушки трансформатора во время положительных полупериодов.



При помощи трансформаторов можно повышать напряжение переменного тока.

Как использовать наилучшим образом эту способность трансформатора в приемнике? Не может ли использование трансформатора стать одним из путей к созданию безлампового приемника? Продетектировав принятый модулированный сигнал и выделив из него напряжение звуковой частоты, можно, казалось бы, при помощи трансформатора повысить его напряжение во много раз — до такой величины, которая достаточна для работы громкоговорителя.

К сожалению, из этого ничего не получится, так как для работы громкоговорителя нужно не только напряжение, но и определенная мощность, а трансформатор мощность не повышает; наоборот, при передаче ее из первичной цепи во вторичную часть энергии теряется.

Но это препятствие, казалось бы, можно обойти. Одним из немногих приборов, управление которыми практически производится без затраты мощности, является электронная лампа. Поэтому можно представить себе громкоговорящий приемник всего с одной выходной лампой. Выделенное детектором напряжение повышается при помощи трансформатора и подается дальше на сетку выходной лампы, в анодной цепи которой вследствие этого создается необходимая мощность звуковой частоты.

Если приемник принимает сигналы станции, которая слабо слышна на телефонные наушники, то после детек-

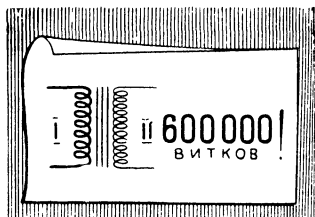
тора получится напряжение звуковой частоты порядка сотых долей вольта. А для работы батарейной выходной лампы требуется подать на ее сетку примерно 4—4,5 вольта. Это значит, что после детектора нужно повысить напряжение, примерно в 400—450 раз. Эту задачу при помощи трансформатора, казалось бы, решить весьма просто: намотаем во вторичной обмотке в 400 раз больше витков, чем в первичной, и получим требуемое напряжение.

На практике, однако, оказывается, что это далеко не так просто. Для того чтобы громкоговоритель звучал хорошо, он должен воспроизводить одинаково равномерно все звуковые частоты, т. е. напряжение всех воспроизводимых частот должно быть усилено одинаково. Для этого первичная обмотка трансформатора должна обладать достаточно большим индуктивным сопротивлением по отношению к наиболее низким частотам. Надо, чтобы это сопротивление было в 2—3 раза больше внутреннего сопротивления детектора. А это значит, что в первичной обмотке должно быть довольно много витков: не десятки, и даже не сотни, а тысячи. В противном случае низкие частоты будут усиливаться очень плохо.

Для более или менее равномерного усиления низших звуковых частот (от 80—100 до 200—300 герц) при сердечнике средних размеров (сечение  $20 \times 20$  мм) необходимо иметь в первичной обмотке 1 500—2 000 витков. Но тогда во вторичной обмотке потребуется  $1\,500 \cdot 400 = 600\,000$  витков. Намотать такое число витков практически нельзя. Следовательно, о громкоговорящем приеме слабых станций говорить не приходится.

Даже если ограничиться громкоговорящим приемом только хорошо слышимых на телефон станций, создающих на выходе детектора напряжение 0,1—0,2 вольта, то во вторичной обмотке понадобится около 40 000 витков — цифра также мало реальная. Чтобы намотать столько витков на сердечнике средних размеров, потребовался бы очень тонкий провод и изготовление трансформатора было бы сопряжено с большими техническими трудностями.

Реально выполнимый трансформатор приемлемых раз-



меров будет иметь так мало витков в первичной обмотке, что его частотная характеристика окажется совершенно неудовлетворительной: низкие частоты будут воспроизводиться очень плохо и усиление будет все более возрастать с повышением частоты. Этому будет способствовать еще и то обстоятельство, что большая собственная емкость вторичной обмотки вызовет появление резонанса во вторичной цепи в области высших частот. В результате частотная характеристика будет иметь еще более сильный подъем в этой области.

Все это приведет к тому, что высшие частоты будут резко преобладать и передача будет состоять из одних выкриков на высших частотах, которые перекроют все остальные звуки. Если учесть еще и потери во вторичной обмотке, то станет ясно, что несмотря на кажущуюся простоту большого повышения напряжения при помощи трансформатора, задача эта для диапазона звуковых частот сопряжена со столь большими трудностями, что гораздо проще применить для этой цели одно- или двухламповый усилитель. Этим объясняется то, что в современных приемниках задача усиления низкой частоты именно так и решается.



Знакомясь со стандартом на радиовещательные приемники, мы замечаем, что у приемников 2-го и 3-го классов нормы чувствительности на разных диапазонах неодинаковы: на коротких волнах допускается меньшая чувствительность, чем на длинных и средних.

Измерив усиление высокочастотного каскада на длинных и коротких волнах, мы увидим, что усиление на коротких волнах действительно меньше. Следовательно, нормы стандарта правильно отражают положение вещей: чем короче волна, тем меньше усиление каскада.

Представим себе, что мы захотели все же проверить это. Как можно сделать это так, чтобы исключить возможность ошибок? Очевидно, для этого лучше всего из-

мерить усиление каскада в начале и конце диапазона, т. е. в его длинноволновой и коротковолновой частях. Этим мы исключим вероятность ошибки из-за возможной неодинаковости катушек разных контуров. В обоих измерениях будет участвовать одна и та же катушка и один и тот же переменный конденсатор.

Если мы действительно проделаем такой эксперимент, то будем, вероятно, весьма удивлены его результатами. Измерения покажут, что в более коротковолновой части диапазона усиление больше, чем в его длинноволновой части.

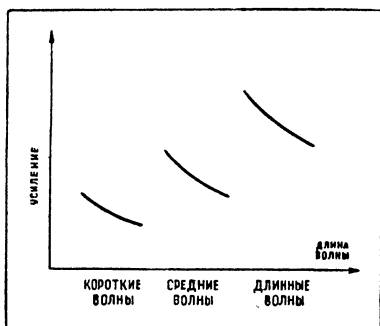
Чем же это объясняется? Почему в пределах одного диапазона усиление с укорочением волны растет, а при переходе на другой, более коротковолновый диапазон усиление, наоборот, уменьшается.

Каскад усиления высокой частоты состоит из двух основных частей: лампы и колебательного контура. Какая же из этих двух частей «повинна» в результатах наших испытаний?

Может быть, лампа неодинаково усиливает колебания разных частот? Нет, лампа тут ни при чем. Начиная от самых низких звуковых частот и кончая частотами, соответствующими коротковолновой части радиовещательного диапазона, лампа сама по себе работает одинаково.

Значит, остается колебательный контур. Действительно, виновником того недоразумения, с которым мы столкнулись, является колебательный контур.

Усиление каскада зависит от соотношения сопротивления нагрузки и внутреннего сопротивления лампы. Нагрузкой в высокочастотном каскаде является колебательный контур. Для того чтобы усиление каскада на разных диапазонах было одинаковым, надо, чтобы резонансное сопротивление контуров на этих диапазонах тоже было одинаковым. Однако это условие по ряду причин соблюсти не удастся. Дело в том, что резонансное сопротивление контура зависит, в частности, от соотношения между его индуктивностью и емкостью (от так называемой характеристики контура  $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ ) и оказывается тем больше, чем больше величина этого отношения. Но емкость переменного конденсатора, при помощи которого контуры настраиваются в приемнике, остается одинако-



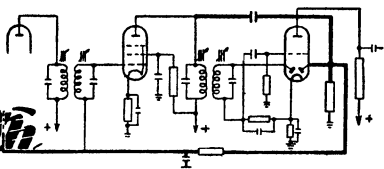
вой на всех диапазонах, и вследствие этого индуктивность на коротких волнах приходится брать меньшую, чем на более длинных. В итоге резонансное сопротивление коротковолновых колебательных контуров получается меньшим, чем длинно- и средневолновых. Поэтому и усиление кас-

А как же наш эксперимент с изменением усиления на различных участках одного и того же диапазона?

Результат этот тоже правилен. Как следует из сказанного выше, резонансное сопротивление контура с данной катушкой будет тем больше, чем меньше его емкость. Укорачивая волну контура, мы уменьшаем его емкость (настройка наших контуров производится переменными конденсаторами; индуктивность катушки при этом остается постоянной), поэтому в коротковолновой части диапазона контура его резонансное сопротивление больше, чем в длинноволновой, а значит, и усиление каскада будет больше.

А если бы мы свой эксперимент произвели с контуром, в котором настройка осуществляется изменением индуктивности при неизменной емкости? Очевидно, наш эксперимент дал бы противоположные результаты, и никакого «недоразумения» не произошло бы.

**Почему  
АРУ  
не искажает**



Работа автоматической регулировки усиления (АРУ) основана, как известно, на том, что выпрямленное детектором напряжение с отрицательным знаком подается на сетки ламп каскадов усиления высокой и промежуточ-

ной частоты. При увеличении напряжения на детекторе усиление этих ламп уменьшается, а при уменьшении напряжения усиление, наоборот, возрастает. В результате выходное напряжение приемника при сигналах различной силы на его входе поддерживается примерно постоянным.

Нередко задают вопрос: если АРУ поддерживает напряжение на выходе приемника постоянным, то как же приемник воспроизводит звуки разной громкости, например музыку оркестра, которая характерна широким разнообразием звуковых оттенков и громкости. Казалось бы, что под действием АРУ громкие звуки будут слышны тише, чем следовало бы, а тихие, наоборот, громче, чем нужно, и звуковая картина будет искажена.

В действительности АРУ таких искажений не вносит. Объясняется это тем, что регулирующее напряжение подается на регулируемые лампы через специальный фильтр, состоящий из сопротивления и емкости. Назначение этого фильтра заключается в том, чтобы задерживать изменения напряжения, которые происходят быстро, со звуковой частотой, и пропускать на сетки регулируемых ламп только медленные изменения напряжения, которые происходят при постепенном замирании сигналов или перестройке с одной станции на другую.

Работа такого фильтра характеризуется так называемой постоянной времени, под которой понимается время, нужное для заряда или разряда конденсатора фильтра  $C$  через сопротивление  $R$  до некоторого условного уровня. Это и будет время, необходимое для того, чтобы изменилось напряжение на выходе фильтра.

Значения  $R$  и  $C$  фильтра в цепи АРУ подбирают так, чтобы его постоянная времени была больше половины периода самой низкой звуковой частоты. Если, например, постоянная времени фильтра равна 0,2 секунды, то это значит, что заметное изменение напряжения АРУ на сетках ламп может произойти за срок, не меньше 0,2 секунды. Но даже самая низкая звуковая частота, воспроизводимая приемником (50 герц), имеет период, в 10 раз меньший ( $1/50=0,02$  секунды) и, следовательно, напряжение такой частоты окажется не в состоянии изменить напряжение на фильтре.

Поэтому напряжение АРУ не будет изменяться под действием модуляции звуковыми частотами и будет оста-



ваться пропорциональным только напряжению несущей частоты сигнала, т. е. силе сигнала на входе приемника.

Но не следует впадать в другую крайность — делать постоянную времени фильтра АРУ чрезмерно большой; тогда для изменения регулирующего напряжения потребуется слишком большой срок и действие АРУ будет запаздывать: напряжение сигнала на входе изменится, а усиление останется неизменным. Следовательно, на выходе приемника будет заметно либо пропадание слышимости, либо ее чрезмерное возрастание.

Постоянная времени в секундах выражается как произведение  $R$  (выраженного в мегомах) на  $C$  (выраженное в микрофарадах). Наиболее употребительные значения этих величин в фильтрах АРУ следующие:  $R=1$  мегом и  $C=0,1 \div 0,2$  микрофарады. Тогда постоянная времени  $\tau = 1 (0,1 \div 0,2) = 0,1 \div 0,2$  секунды.

## РАСТЯНУТЫЕ или СЖАТЫЕ диапазоны

Одним из усовершенствований, вводимых в современные радиовещательные приемники, являются так называемые «растянутые диапазоны» на коротких волнах. Каждый радиослушатель хорошо знает, как легка настройка при приеме на таких «растянутых» диапазонах — ничуть не труднее, чем на длинных или средних волнах.

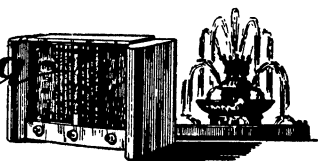
Происходит это потому, что путем присоединения параллельно переменному конденсатору и последовательно с ним постоянных конденсаторов резко уменьшается относительная величина перекрытия частот: полный поворот ротора конденсатора изменяет частоту уже не в 3 раза, как на длинных и средних волнах, а всего примерно в 1,1 раза, т. е. лишь на 10%. Такое перекрытие охватывает лишь один из участков, отведенных на коротковолновом диапазоне для радиовещания, например, 25-метровый, 40-метровый и т. п.

Нужно сказать, что прочно привившееся название «растянутый диапазон» по существу неправильно. Растя-

нутый — значит более широкий, растянутый более широко. По смыслу этого слова пределы растянутого диапазона должны быть шире, чем обычного, т. е. перекрытие волн должно быть больше, скажем, не в 3 раза, как обычно, а в 5—6 раз. Мы же имеем не растянутый, а сильно укороченный диапазон: пределы перекрытия сокращены почти в 30 раз. На «растянутом» диапазоне самая длинная волна превышает самую короткую лишь в 1,1—1,2 раза. А это значит, что диапазон не растянут, а скорее сжат, сильно сокращен. Но в результате такого сокращения сильно растянулась шкала: тот маленький участок, который на ней занимал диапазон при обычной шкале, теперь растянулся на всю шкалу. Поэтому правильнее было бы назвать это усовершенствование «растянутой шкалой», что больше соответствует действительности.

---

## Бриллиантовая ШКАЛА



Перед вами приемник «Мир». Его шкала — длинные вертикально расположенные планки из органического стекла — почти прозрачна и лишь слабо различается на фоне драпировочной ткани.

Вы повернули ручку, включающую приемник, и шкала наполнилась светом. Именно наполнилась, а не просто осветилась. Ясно видно, как планки обрамления шкалы источают изнутри слабый желтый свет, а планка включенного диапазона — зеленый. На фоне этого слабого свечения ярко блестят цифры и деления. Шкала, такая невзрачная, когда приемник не включен, стала вдруг необычайно красивой.

Многие, впервые увидевшие шкалу приемника «Мир», спрашивают: «Это что же — вроде неоновой трубки, что ли?».

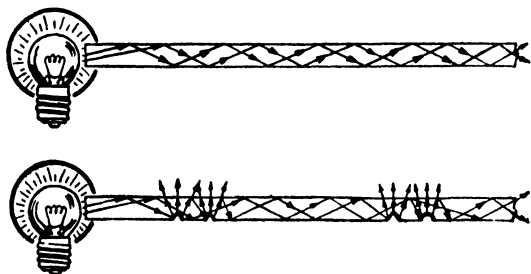
Площади и парки Москвы и других городов украшают светящиеся фонтаны. Вечером и ночью они выглядят феерически. Множество красиво изогнутых светящихся струй взлетает вверх и рассыпается сверкающими брызгами.

Цвет свечения струй не остается постоянным. Красные струи сменяются голубыми, желтыми, зелеными... Чудное зрелище светящегося фонтана неизменно привлекает к себе внимание гуляющих.

Причина свечения струй воды ясна всем. Электрические лампы помещены внутри фонтана и свет их вырывается через те же отверстия, через которые выбрасывается вода. Поэтому струи освещены изнутри. Но что же понуждает свет, распространяющийся, как мы знаем, прямолинейно, следовать за всеми изгибами струи?

В оптике есть закон так называемого полного внутреннего отражения. Он относится к случаю прохождения световых лучей через границу, разделяющую две среды с разной оптической плотностью (чем больше оптическая плотность среды, тем медленнее распространяется в ней свет). Согласно этому закону свет, распространяющийся в какой-нибудь среде, может пройти через границу, отделяющую эту среду от среды с меньшей оптической плотностью, лишь в том случае, если он падает на эту границу под углом, не меньшим некоторой определенной величины, носящим название «критического» угла. Если угол падения меньше этой величины, то свет полностью отражается от границы и не выходит за пределы «своей» среды. Для стекла, например, угол полного внутреннего отражения составляет  $42^\circ$ .

Оптическая плотность воды больше, чем воздуха. Свет, проникающий от лампы в струю воды фонтана, падает на границу, разделяющую воду струи от окружающего воздуха; под углом, гораздо меньшим критиче-



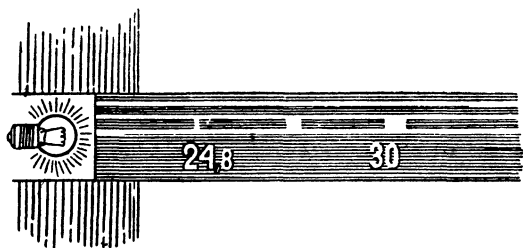
ского, поэтому он отражается снова внутрь струи. Таким образом, претерпевая многократные отражения, он проходит внутри всей длины струи, выходя наружу только

там, где струя разбивается на брызги, и освещая их. Радиус изгиба струй всегда бывает достаточно велик, и угол падения световых лучей на грань раздела нигде не превышает критического.

Но почему же мы все-таки видим, что струя светится?

Мы видим свечение потому, что свет в небольшом количестве все же выходит из струи наружу вследствие известного рассеяния в воде из-за ее неполной прозрачности, а также потому, что поверхность струи рябится под влиянием вихревых потоков. В таких местах угол падения оказывается достаточным для выхода света.

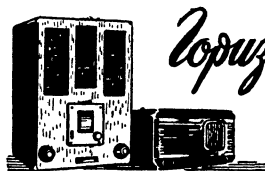
Для освещения шкалы приемника «Мир» и ряда других, например приемника «Восток», радиолы «Рига», телевизора «Север», использован этот же принцип полного внутреннего отражения. При освещении пластин органического стекла с торцов свет падает на грани раздела стекло — воздух под углом меньше критического и отражается от него. Слабое свечение планки объясняется тем, что ее поверхность не идеально гладка. На ней есть миллионы мельчайших царапин. На стенки этих царапин свет изнутри попадает под углами, достаточными для выхода наружу.



Деления и цифры шкалы, вырезанные в пластине, в сущности представляют собой такие же царапины, но более глубокие. Лучи света, распространяющиеся в толще пластины, встречают грани вырезанных делений и цифр под такими углами, что они отражаются к противоположной стенке пластины, падают на нее под углом, большим критического, выходят наружу и здесь попадают в наш глаз. В результате мы видим ярко освещенные грани вырезанных делений, резко выделяющиеся на фоне общего слабого свечения шкалы.

Первые шкалы такого типа за красоту их свечения получили название бриллиантовых.

А как же производится окраска свечения шкалы в какой-нибудь цвет? Делается это очень просто — торец планки шкалы окрашивается соответствующей краской, в результате вся шкала «наполняется» светом этого цвета.



## *Горизонтальное и вертикальное* **ОФОРМЛЕНИЕ**

Вспомним наши довоенные заводские приемники: СВД, ЦРЛ, 6Н-1, СИ-235 и др. Все они одинаковы в том отношении, что их конструкция была вертикальной. Над шкалой у этих приемников помещалась шкала, а над шкалой располагался громкоговоритель. Высота такого приемника была заметно больше ширины. Подобные конструкции и называются вертикальными.

Но уже в предвоенные годы радиолюбители начали строить приемники горизонтальной конструкции. Первым приемником этого типа был РФ-1. После войны и промышленность перешла на горизонтальные конструкции, характерные тем, что у них громкоговоритель помещается не над шкалой, а рядом с ней, почему весь приемник получается вытянутым по горизонтали. Ширина такого приемника значительно превосходит высоту. Наши приемники «Балтика», «Рекорд», «Москвич», «Пунане-Рэт», «Урал» и многие другие могут служить примерами «горизонтального» оформления.

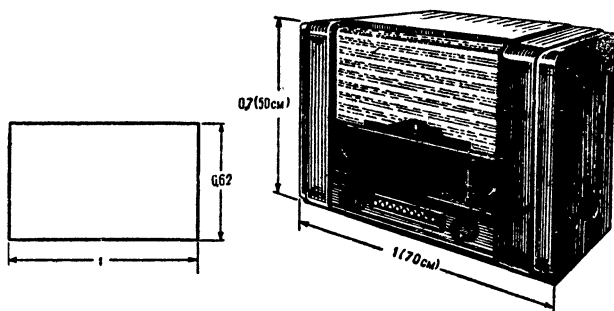
Что же это, просто «мода» или же переход к горизонтальным конструкциям объясняется более серьезными причинами?

Нельзя утверждать, что в оформлении радиоприемников вовсе не играет роль мода, но в данном случае сыграли роль иные соображения. По мере совершенствования радиоприемников все больше внимания уделялось удобству обращения, повышению «комфортбельности» приемника. В этом отношении большое значение

имеют размеры шкалы. Чем больше шкала, тем удобнее ею пользоваться. Большие, хорошо освещающиеся шкалы значительно способствовали также улучшению внешнего вида приемника, украшая его. Но большие шкалы занимают много места в высоту и ширину. Над такой шкалой поместить громкоговоритель уже нельзя, иначе приемник будет безобразно вытянут вверх.

Естественным выходом из положения явилось помещение громкоговорителя рядом со шкалой. Такая конструкция позволила найти удобные и архитектурно удачные формы приемников: одна половина фасада приемника занята шкалой, на другой находится задрапированное тканью отверстие для громкоговорителя.

Но в некоторых случаях, когда шасси приемника оказывается слишком больших размеров, т. е. очень длинным, такое расположение шкалы и громкоговорителя оказывается уже неудобным — приемник получается слишком низким и вытянутым. Опыт показал, что нашему глазу наиболее приятен прямоугольник с отношением сторон  $1 : 0,62$  (так называемое «золотое» соотношение сторон). Для соблюдения этого соотношения приходится делать шкалу узкой и длинной, помещая громкоговоритель над нею. Такие длинные шасси имеют многоламповые приемники, относящиеся преимущественно к I классу. Оформление этого рода имеют, например, приемники «Минск-55», «Беларусь-53», «Октябрь» и ряд других.



В отношении акустики форма ящика не имеет существенного значения. Для качества звучания важна не столько форма, сколько объем. Для воспроизведения низких частот ящик приемника должен быть большим. В маленьком ящике нельзя получить достаточное звучание

«низов». Поэтому все приемники I класса, при конструировании которых особое внимание уделяется качеству воспроизведения, имеют большие тяжелые ящики. В таких ящиках размещение шкалы и громкоговорителей (которых бывает обычно два) определяется уже чисто архитектурными соображениями, потому что большой размер ящика позволяет расположить шкалу любым образом.



Перед вами приемник обычного вида. Он работает и, видимо, настроен на одну из станций центрального вещания. Владелец приемника стоит рядом и, загадочно улыбаясь, говорит вам, что палочка, которую он держит в руках, — волшебная. В доказательство этого он подносит свою палочку к приемнику, и станция, которую вы только что хорошо слышали, пропадает. Неуловимое движение палочки — и вы слышите уже совсем другую станцию. Еще одно движение — и вторая станция сменяется третьей. Продолжая дирижировать своей «волшебной» палочкой, владелец приемника позволяет вам совершить прогулку по эфиру, прослушать ряд станций в диапазоне длинных и средних волн.

То, что мы рассказываем, — не выдумка. Настройку такого рода можно осуществить, применив в приемнике катушки с сердечниками из нового ферромагнитного материала — феррита и поместив в «волшебную палочку» небольшой постоянный магнит в виде стерженька.

Сердечники из феррита обладают очень высокой магнитной проницаемостью, которая у некоторых сортов этого материала доходит до 1 000 и более. Это значит, что у катушки, намотанной на такой сердечник, индуктивность будет в 1 000 раз больше, чем у такой же катушки без сердечника.

Но этого мало. Магнитная проницаемость феррита, как и всякого другого ферромагнитного материала, не

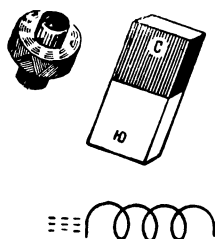
является величиной постоянной; она зависит от силы магнитного поля, в котором находится сердечник, от величины пронизывающего его магнитного потока. Те цифры магнитной проницаемости, которые мы называли выше, относятся к случаю, когда сердечник из феррита не находится в магнитном поле, т. е. когда магнитный поток через него равен нулю. Если этот сердечник поместить в магнитное поле, то его проницаемость уменьшится, причем это уменьшение будет тем больше, чем сильнее магнитное поле.

В очень сильном поле, когда наступает полное магнитное насыщение сердечника, проницаемость его станет равна единице, т. е. сравняется с магнитной проницаемостью воздуха.

Но одновременно с изменением магнитной проницаемости в такой же мере изменяется и индуктивность катушки, намотанной на сердечник. Таким образом, путем изменения магнитного поля, окружающего катушку, можно менять индуктивность, а вместе с тем, и настройку контура, в который входит катушка.

Этот способ не нов; его применяют в силовоточной технике, где, изменяя ток подмагничивания, регулируют в нужных пределах реактивное сопротивление дросселей со стальными сердечниками. Одним из примеров применения магнитного насыщения может служить феррорезонансный стабилизатор напряжения, в схему которого входит дроссель на насыщенном сердечнике. Этот же принцип используется в магнитных усилителях (см. стр. 238). При высокочастотных сердечниках из магнитодиэлектриков (альсифера, магнетита и карбонильного железа) он редко применяется, так как начальная проницаемость таких сердечников сравнительно невелика и у сердечников распространенной формы не превышает десяти. Изменения проницаемости в магнитном поле вследствие особенностей структуры таких сердечников также сравнительно незначительны. Чтобы получить заметные изменения проницаемости, приходится помещать сердечник между полюсами довольно сильного электромагнита.

Другое дело у ферритов: благодаря их большой на-





чальной проницаемости удастся получить значительные изменения ее величины в сравнительно слабом магнитном поле.

Для того чтобы перекрыть весь диапазон длинных и средних волн (200—2 000 м), нужно иметь возможность изменить частоту контуров в 10 раз. Для этого индуктивность нужно изменить в  $10^2$ , т. е. 100 раз. А такое изменение магнитной проницаемости сердечника из феррита вполне осуществимо; оно может быть получено в поле, создаваемом небольшим постоянным магнитом. Именно такое действие и оказывала «волшебная», вернее магнитная, палочка. Поднося заключенный в ней магнит ближе к катушке, мы усиливали магнитное поле, охватывающее сердечник, и тем самым уменьшали его проницаемость и индуктивность катушки. Наибольшая индуктивность получалась, когда палочка была далеко, наименьшая — когда она была вблизи катушки.

Настройка при помощи магнитного поля имеет ряд достоинств: механизм настройки упрощается, не нужны конденсаторы переменной емкости, из схемы исключаются трущиеся контакты, уменьшается число катушек, так как не нужна разбивка на два поддиапазона, не нужен переключатель диапазонов и т. д.

Однако у ферритов пока имеются и существенные недостатки, в частности — сильно выраженная зависимость магнитной проницаемости от температуры. А это значит, что индуктивность катушки с таким сердечником будет заметно изменяться при колебаниях температуры и приемник будет самопроизвольно расстраиваться.

Работа над улучшением ферритов продолжается, и можно рассчитывать, что приемники с «магнитной» настройкой скоро перестанут быть техническим курьезом и получат широкое распространение.

Способность ферритов резко изменять свою магнитную проницаемость под действием изменений магнитного поля может быть использована не только для «магнитной» настройки. Эта особенность ферритов позволяет просто осуществить с их помощью устройства, которые при других способах выполнения оказываются довольно сложными. Так, например, ферритовые сердечники позволяют значительно упростить конструкцию некоторых элементов электронных вычислительных машин и других приборов.



Что нужно сделать для того, чтобы устранить электрическое воздействие на провод или деталь?

Каждый радиолюбитель знает, что надо эту деталь или этот провод экранировать. Мы экранируем катушки и целые контуры, экранируем лампы, металлизировав их баллоны, помещаем экраны внутрь ламп. Наконец, мы экранируем снижения антенн в тех случаях, когда не хотим, чтобы снижения принимало участие в радиоприеме.

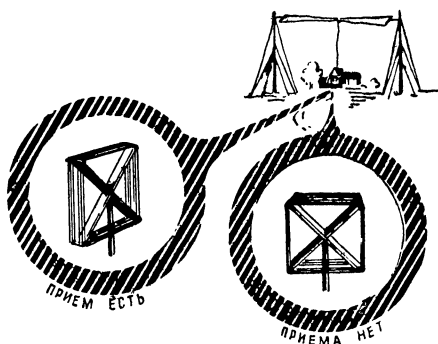
Но вот несколько лет назад в продаже появились радиоприемники с ... экранированной рамкой, помещенной внутри ящика приемника. Так был выполнен, например, приемник 2-го класса «Электросигнал-2». Витки рамок этого приемника заключены в заземленную металлическую оплетку, имеющую узкий разрез в одном месте. Такие же экранированные рамки с экраном в виде массивной медной трубы применяются в радионавигации.

Как работает рамка?

Передающие антенны располагаются обычно вертикально и создают электромагнитное поле, у которого электрическая составляющая направлена вертикально, а магнитная — горизонтально. Это значит, что между любыми двумя точками, находящимися на разной высоте, этим полем создается напряжение, тем большее, чем больше разность их высот.

Приемная рамка помещается в вертикальной плоскости, поэтому в тех частях образующих ее витков провода, которые при этом окажутся расположенными вертикально, будет наводиться э.д.с. Если рамка будет обращена к передающей станции своей плоскостью, то в обеих ее вертикальных частях будут наведены совершенно одинаковые, но направленные друг другу навстречу э.д.с., которые взаимно уничтожатся. Но если рамка

обращена к передающей станции своим ребром, то передние и задние стороны ее витков будут находиться от станции на неодинаковом расстоянии — передние стороны окажутся ближе к ней. Эта разница в расстоянии при-



ведет к тому, что фазы э.д.с., наведенных в передних и задних сторонах витков рамки, будут несколько различны и наведенные э.д.с. не уничтожат друг друга полностью. Оставшаяся разность и представит собой то напряжение сигнала, которое может быть использовано для приема.

Если рамку экранировать, заключив ее в медную трубу, оплетку или спираль (причем поперечный разрез этой трубы или оплетки не изменяет ее экранирующего действия), то такой экран полностью устранит воздействие на витки рамки электрического поля передатчика и никакой э.д.с. наводиться в них не будет. Прием на такую рамку был бы невозможен, если бы... у электромагнитного поля была только электрическая составляющая. Но у него есть еще магнитная составляющая, свободно проходящая сквозь медный экран и воздействующая на витки рамки. Разрез в экране предотвращает возникновение в нем круговых токов, которые были бы возбуждены магнитной составляющей поля. А раз в экране нет тока, то нет и создаваемого им противодействующего магнитного поля. Поэтому по отношению к магнитному полю такой экран совершенно нейтрален — он его не задерживает и не искажает.

Благодаря этой особенности экранированной рамке присуще весьма ценное свойство — способность ослаблять помехи радиоприему, создаваемые различными электрическими установками. Эти помехи создаются в большинстве случаев именно электрическим полем источника помех, магнитное же поле его значительно слабее и радиус его действия очень мал.

# Антенна с СЕРДЕЧНИКОМ

Мы привыкли к тому, что сердечники бывают у трансформаторов, дросселей, катушек. Но как можно «вставить» сердечник в антенну?

Конечно, в наружную антенну поместить сердечник мудрено, но ничто не может помешать нам намотать антенный провод на длинный сердечник, имеющий вид прутка или стержня. Стержень этот должен быть изготовлен из магнитодиэлектрика (высокочастотного магнитного материала) с большой магнитной проницаемостью, например карбонильного железа, того самого, из которого делаются сердечники для контурных катушек или — еще лучше — феррита.

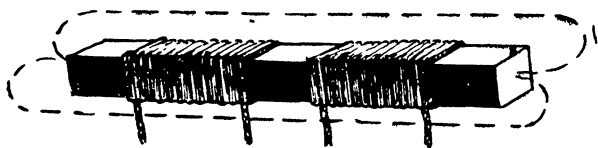
Почему во вторичной обмотке трансформатора, намотанной отдельно от первичной обмотки на общем сердечнике, наводится э.д.с.? Она наводится потому, что в сердечнике, на котором намотана вторичная обмотка, возникает переменное магнитное поле. Каждый раз, когда магнитное поле внутри витка претерпевает изменение, в витке возбуждается э.д.с.

Ферромагнитные материалы замечательны тем, что если поместить их в магнитном поле, то внутри них создается магнитное поле, гораздо более сильное, чем в окружающем пространстве.

Эти два положения и использованы для создания магнитной антенны, которую мы назвали в заголовке антенной с сердечником. Передающая станция создает переменное электромагнитное поле; нас в данном случае интересует его магнитная составляющая. Магнитное поле (см. стр. 182) направлено горизонтально. Если в это магнитное поле поместить ферромагнитный материал, то внутри него магнитное поле будет во много раз усилено. Поле это — переменное. Если на этот ферромагнитный материал намотаем витки, то, поскольку внутри них будет находиться переменное магнитное поле, в витках будет наводиться соответствующая э.д.с.

Естественно, что если сердечник выполнен в виде стержня, то наиболее сильный магнитный поток появится в нем тогда, когда направление стержня совпадает с направлением магнитных линий поля; другими словами, когда ось сердечника расположена перпендикулярно направлению на принимаемую станцию.

Поэтому магнитная антенна обладает направленным действием: она лучше всего принимает, когда направле-



ние ее сердечника перпендикулярно направлению на станцию. Чем больше магнитная индукция материала сердечника, тем сильнее будет магнитное поле внутри него. Современные материалы обладают большой магнитной проницаемостью (порядка нескольких сотен или даже тысяч), и поэтому сердечники из них могут быть сделаны сечением всего 3—5 см<sup>2</sup>. Такие сердечники вполне обеспечивают достаточный магнитный поток внутри витков антенны. Поэтому размеры магнитной антенны получаются небольшими; их длина для радиовещательного диапазона волн составляет всего 20—30 см.

Рамочная и магнитная антенны по своим общим свойствам и по своему отношению к магнитному полю одинаковы. В отношении ориентации они по существу также одинаковы. Чтобы принять на рамочную антенну, надо чтобы плоскость ее витка совпала с направлением на передающую станцию. А чтобы принять на магнитную антенну, надо расположить ее так, чтобы ось сердечника была перпендикулярна к этому направлению, но при этом плоскость витков как раз и будет направлена на станцию.

Нам надо отметить, что направленное действие рамочной и магнитной антенны может быть в полной мере обнаружено лишь при приеме на открытом месте. В комнатах металлические предметы служат вторичными излучателями и прием получается при ориентировании антенны на них.

# **НУЖНО ЛИ** *Заземлять* **ЗАЗЕМЛЕНИЕ**

Почти у каждого приемника есть гнездо или зажим, отмеченный знаком «земля». К этой точке схемы нужно присоединять заземление.

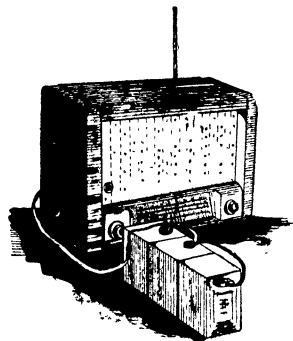
Сейчас, когда радио прочно вошло в быт, мы привыкли обращаться с приемником довольно бесцеремонно и не всегда выполняем, то, что предписывается инструкциями. Часто, например, оставляют приемник без заземления, не задумываясь совершенно над тем, почему приемник работает без него. Но в первые годы развития радиолюбительства, когда к приемнику относились с большим уважением и считали обязательным выполнение всех указаний по пользованию им, необходимость присоединения к приемнику «земли» не вызывала никаких сомнений. И у многих пытливых умов возникал совершенно естественный недоуменный вопрос: а как быть с «землей» там, где ее вовсе нет, например на пароходе, самолете или автомобиле? В любительских журналах появлялись даже шуточные рецепты — комплектовать радиоустановку на самолете землей, хотя бы в цветочном горшке.

В самом деле, насколько необходимо заземление в приемнике?

Заземление является обязательной частью антенного устройства. Между антенной и землей образуется емкость, без которой невозможна работа открытого колебательного контура, каким является антенная цепь. Правда, заземление можно заменить противовесом — системой проводов, расположенных под антенной и изолированных от земли. Но такая система оказывается очень сложной и применяется обычно только на передающих станциях и в специальных приемных центрах.

Кроме того, от качества заземления в значительной мере зависят эффективность антенны и количество энергии, которое она может передать приемнику. Этим объясняется то внимание, которое уделяется устройству заземления для детекторных приемников, где единствен-

ным источником используемой энергии является антенна. Для ламповых приемников, обладающих возможностью огромного усиления принятых сигналов, эффективность антенны перестала играть сколько-нибудь существенную роль. Они часто вообще не имеют наружной антенны и хорошо работают от



небольшого куска провода, протянутого в комнате. Но принцип работы антенны от этого не изменился: она образует открытый колебательный контур, который обязательно должен содержать емкость. А такая емкость существует и без специального заземления — это емкость между проводом антенны, с одной стороны, и с

другой стороны — шасси приемника, батареями питания или осветительной сетью, с которой сетевой приемник связан через силовой трансформатор. Шасси, батареи и осветительная сеть выполняют функции противовеса.

Присоединение хорошего заземления всегда улучшает работу антенной цепи. Поэтому при дальнейшем приеме на малочувствительный ламповый приемник хорошее заземление значительно улучшает прием.

В отдельных случаях присоединение заземления оказывается полезным в другом отношении — оно может помочь уменьшению фона и помех на выходе приемника.

Но приходится встречаться и с другими случаями, когда для некоторых сетевых приемников присоединение заземления вообще категорически запрещается. Это относится к примникам, которые включаются в сеть непосредственно, без трансформатора, или через автотрансформатор. У этих приемников шасси соединено непосредственно с одним из проводов сети, которая сама в большинстве случаев бывает заземлена. Если окажется, что шасси соединено как раз с незаземленным проводом сети, то присоединение добавочного внешнего заземления приведет к короткому замыканию. По этой же причине до шасси таких приемников нельзя дотрагиваться рукой — оно оказывается под напряжением относительно земли и прикосновение к нему опасно.



Слово «антенна» по-гречески означает усики или щупальцы насекомых. Мы протягиваем свои щупальцы-антенны в пространство — «эфир», как его раньше называли, и «вылавливаем» там нужные нам радиопередачи.

Захват этой «добычи» выражается в возникновении на антенне микроскопических напряжений. Эти напряжения так малы, что счет им ведется на миллионные доли вольта — микровольты. Нужда в измерении столь малых долей вольта возникла именно у радиотехники. Другим областям техники не приходилось иметь дело с такими ничтожными напряжениями.

Напряжения величиной в миллионные доли вольта при помощи обычных приборов невозможно не только измерить, но даже обнаружить. Для измерения их применяются специальные сложные установки. Человеческий организм таких напряжений не ощущает, поэтому хотя антенна, строго говоря, и является токонесущим проводом, ее, казалось бы, можно считать совершенно безопасной.

Но это не так. Иногда — это может случиться во всякое время года — из антенны начинают сыпаться искры. Искры длиной до нескольких сантиметров с громким треском проскакивают между антенной и заземленными предметами, чаще всего между антенным снижением и проводом заземления. В такие моменты не рекомендуется прикасаться к антенне — можно получить очень сильный удар. Обычно еще до прикосновения к антенне между нею и рукой проскакивает искра, причиняющая резкую боль.

Что такое электрическая искра?

Ответ на этот вопрос легко найти в учебниках физики. Искра является одним из видов прохождения электрического тока через газы. В газах электрический ток



образуется как движущимися электронами, так и ионами. В воздухе всегда имеется некоторое количество свободных ионов. Например, в кубическом сантиметре комнатного воздуха число их достигает нескольких тысяч.

Если между двумя проводниками, находящимися в газовой среде, имеется электрическое напряжение, то ионы газа в промежутке между этими проводниками приходят в движение. Скорость, которую они приобретают, зависит от величины напряжения. При достаточно большом напряжении скорость ионов становится столь значительной, что они, испытывая при своем движении неизбежные столкновения с молекулами или атомами газа, ионизируют их, т. е. выбивают из них электроны. Вновь образованные ионы в свою очередь начинают движение и ионизируют другие атомы. В результате целая лавина заряженных частиц устремляется к электродам.

Этот быстро нарастающий лавинный разряд и называется электрической искрой. Давление, образуемое ионами в электрической искре, достигает нескольких сот атмосфер. Энергия, получаемая молекулами или атомами газа при столкновениях с быстро мчащимися ионами и электронами, приводит к выделению тепла и образованию звуковых волн.

Расстояние между электродами в газе, которое может быть преодолено искрой, зависит не только от величины напряжения, но и от ряда других причин: давления газа, его состава, числа свободных ионов, формы электродов и др. Легче всего искра проскакивает между остриями. В комнатном воздухе, для того чтобы «пробить» искрой промежутки между остриями в 15 мм, нужно напряжение 20 000 вольт. Если электроды закруглены или плоски, то такое напряжение может пробить промежутки не больше 5—6 мм.

Каждый, кто наблюдал проскакивание искр между антенной и заземленными предметами, знает, что длина искр бывает довольно значительной. Не редкость искры длиной 10—20 мм, а искры в 2—3—4 мм обычны. Между тем для их образования, даже между остриями, нужны тысячи вольт.

Откуда же берутся такие огромные напряжения?

Разумеется, сигналы радиостанций тут ни при чем. Появление столь больших напряжений объясняется другими причинами.

Чаще всего наведение высокого напряжения в антеннах происходит во время грозы. При грозовых разрядах, которые мы называем ударами молнии, в окрестных проводниках наводятся электрические заряды. Если проводники заземлены, то наведенные заряды немедленно стекают в землю; если же они изолированы, то заряды на них



удерживаются, могут накапливаться и достигать больших величин, достаточных для искрового разряда между ними и землей.

Антенны всегда бывают хорошо изолированы и обладают большой протяженностью, поэтому они заряжаются до высокого напряжения, даже на значительном расстоянии от района действия грозы, т. е. от того места, где непосредственно происходят грозовые разряды.

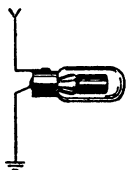
Но заряды на антеннах могут появляться и накапливаться не только во время грозы.

Снежинки очень часто несут на себе электрические заряды. Касаясь антенны при своем падении, они отдают ей заряды. Если воздух сух, а это обычно бывает при сильных морозах, то миллионы снежинок могут в конце концов зарядить антенну до очень высокого потенциала. Такое же явление наблюдается и летом при сухом пыльном ветре. Пылинки, ударяясь об антенну, заряжают ее.

Таковы причины тех искр, которые иногда сыплются из антенного провода. Эти искры опасны. Они могут нанести весьма болезненный удар, повредить приемник, иногда стать причиной пожара. Чтобы избежать всего этого, надо всегда по окончании приема заземлять антенну. Надо также прекращать прием и заземлять антенну и в тех случаях, когда усиливаются атмосферные разряды, т. е. трески, сопровождающие и заглушающие радиоприем. Эти трески свидетельствуют о том, что на антенне по той или иной причине возникают необычно большие заряды.

Антенны заземляют обычно грозовым переключате-

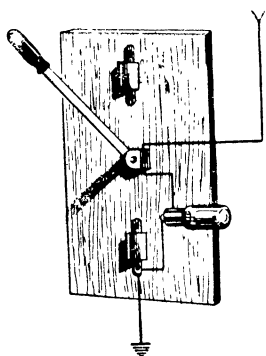
лем. Из сказанного ясно, почему у этих переключателей заземление должно быть подведено к ножу. В этом случае при заземлении антенны к соединенному с антенной зажиму приближается заземленный нож и, если на антенне есть заряд, то при достаточном приближении ножа искра проскочит между антенной и ножом. Производящий заземление человек не пострадает. Если же к ножу присоединена антенна, то прикосновение к нему может вызвать удар.



## ЛАМПОЧКА В АНТЕННЕ

Каждый радиолюбитель знает, для чего в цепь антенны передатчика последовательно включается лампочка. Такая лампочка служит в передатчике простейшим индикатором: если передатчик генерирует, то в антенне возникает переменный ток и лампочка загорается.

Но мы в данном случае говорим не о передатчике, а о приемнике и приемной антенне. Имеет ли смысл включать лампочку в антенну радиоприемника?



Те большие напряжения, которые в иных случаях могут развиваться в приемной антенне (см. стр. 189), наталкивают на мысль о безусловной целесообразности включения в приемную антенну лампочки, но не обычной лампочки накаливания, а неоновой. И вот почему.

Негорящая неоновая лампочка представляет собой бесконечно большое сопротивление. Если мы включим между антенной и заземлением неоновую лампочку, мы можем присоединить к ним приемник и производить прием так, как будто этой лампочки нет: ее присутствие никак не скажется на приеме.

Но присутствие лампочки скажется при появлении на

антенне больших зарядов. Потенциал зажигания неоновой индикаторной лампочки около 60 вольт. Как только на антенне возникнет заряд, превышающий потенциал зажигания лампочки, она вспыхнет, вследствие чего антенна моментально разрядится: ведь емкость антенны очень мала (100—200 пикофарад) и на ней не может накопиться заряд, способный длительно поддерживать горение лампочки. Таким образом, неоновая лампочка будет служить разрядником, сигнализирующим о каждом своем срабатывании вспыхиванием. Так как у большинства применяемых радиолюбителями грозовых переключателей нет искровых промежутков (искровых разрядников), использование в качестве таких разрядников неоновых ламп вполне целесообразно. Такая лампочка не дает возможности накопления на антенне потенциала, превышающего несколько десятков вольт.



В те далекие годы, которые теперь часто называют зарей радиолюбительства, был распространен анекдот об одном врале-радиолюбителе, построившем якобы сверхизбирательный приемник. Этот удивительный приемник, по утверждению его конструктора, был настолько избирателен, что при приеме концертных передач он позволял отстроиться от аккомпанемента и слушать одного певца или же, наоборот, отстроиться от певца и слушать только аккомпанемент.

Однако техника шагает вперед так быстро, что то, что 30 лет назад воспринималось как анекдот, теперь вполне осуществимо.

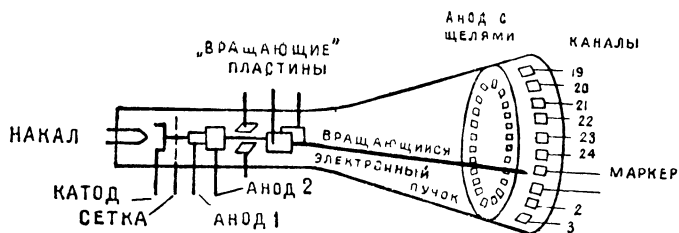
Современная радиотехника использует два основных вида излучения радиоволн передающими радиостанциями: непрерывное и импульсное. Примером первого могут служить все радиовещательные станции, использующие как амплитудную модуляцию, так и частотную. При импульсной передаче излучение производится отдельными

короткими порциями, разделенными более или менее значительными промежутками, во время которых излучения нет. Например, передатчик может излучать в течение микросекунды, после чего он на одну миллисекунду перестает излучать. Так как в секунде содержится тысяча миллисекунд, передатчик, работающий в таком режиме, каждую секунду будет излучать тысячу отдельных посылок-импульсов, длящихся по одной микросекунде. Импульсное излучение используется в специальных видах связи и радиолокации.

В числе многих задач, которые могут быть решены при помощи импульсного излучения, видное место занимает многоканальная связь. Представим себе для простоты, что мы хотим передать по радио на одной волне одновременно две передачи. Для этого мы поступаем так. 1-й, 3-й, 5-й и т. д., т. е. каждый нечетный, излучаемый импульс будем использовать для передачи одной программы, а каждый 2-й, 4-й и т. д. — для другой. С этой целью в передатчике надо будет устроить специальный переключатель, поочередно присоединяющий к нему, например, то один, то другой микрофон. Такие же переключатели должны быть и у приемников. Их функция будет состоять в том, чтобы присоединять приемник к антенне (или вообще каким-либо способом включать приемник) как раз в те моменты, когда приходит предназначенный для него импульс.

Разумеется, механические переключатели негодны для этой цели. Никакая механическая система не выдержит таких сверхвысоких скоростей. Подобные переключатели могут осуществляться только средствами электронной техники.

Импульсная многоканальная связь существует. Для нее созданы электроннолучевые переключатели — циклофоны. Электронный луч не прочерчивает в них строки на экране, как в телевизионных трубках, а бежит по кругу, на котором расположены контакты. Скорость движения луча, размеры контактов и расстояние между ними рассчитаны так, что луч движется по каждому контакту как раз столько времени, сколько длится импульс, предназначенный для соединенного с этим контактом канала. Если в секунду передается тысяча импульсов, а контактов в трубке 25, то электронный луч 40 раз в секунду обегает весь круг контактов.

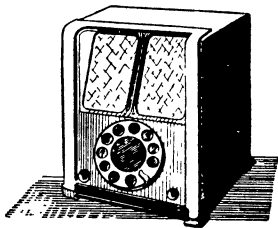


Корреспондент, получающий такие импульсные посылки, не замечает их прерывистости. Это достигается при помощи специальных сглаживающих устройств в приемнике, в частности в детекторном каскаде.

Импульсная передача дает возможность осуществить старинный анекдот. Представим себе, что голос певца и аккомпанемент передаются на одной волне по двум различным каналам импульсной передачи. Разделить звуки голоса певца и аккомпанемент можно различными способами. Можно, например, разместить певца и аккомпаниатора в разных студиях, причем они будут видеть друг друга в окно и слышать друг друга при помощи надетых наушников.

В месте приема можно посредством переключения контактов циклофона подавать на приемник оба канала или по желанию любой из двух каналов и, таким образом, получать или всю передачу полностью, или «отстраиваться» либо от певца, либо от аккомпанемента.

Импульсная передача и циклофоны позволяют производить на одной волне одновременно через одну радиостанцию несколько передач без всяких взаимных помех. Применение импульсной техники в радиовещании, возможно, является делом недалекого будущего. Это позволит резко сократить число передающих радиостанций и в то же время резко увеличить число передаваемых ими программ. Мы можем представить себе орган настройки импульсного приемника того времени в виде наборного диска автоматического телефонного аппарата. При помощи этого диска слушатель будет набирать частоту нужной радиостанции и номер канала, по которому передается интересующая его программа.



# *Рабочий день*

## ИМПУЛЬСНОГО ПЕРЕДАТЧИКА



Передачики радиолокационных станций, вернее их выходные каскады, работают, как известно, в течение очень коротких промежутков времени, соответствующих посылке импульсов. В промежутках между импульсами выходные каскады таких передатчиков не работают. Это обстоятельство позволяет не применять особых мер для охлаждения анодов выходных ламп. В те краткие мгновения, на которые включаются лампы, их аноды не успевают перегреться.

Но каков же все-таки фактический «рабочий день» выходного каскада такого передатчика? Какой промежуток времени при круглосуточной эксплуатации этот каскад в действительности работает и сколько он отдыхает? Без расчета трудно дать правильный ответ на этот вопрос, потому что частая повторяемость импульсов—сотни и тысячи раз в секунду—заставляет предположить, что даже при крайне малой длительности самих импульсов их суммарная продолжительность будет не так-то мала.

Попробуем произвести примерный подсчет.

Предположим, что радиолокационный передатчик должен обнаруживать объекты на расстояниях до 150 км. Промежуток времени между посылкой двух импульсов должен, естественно, быть достаточным для того, чтобы отраженная от объекта радиоволна могла возвратиться к локационной станции. Путь, который должна пролететь радиоволна, равен 300 км (150 км до цели и столько же обратно). Так как в секунду радиоволна пролетает 300 000 км, то на преодоление пути в 300 км ей потребуется  $300 : 300\,000 = 0,001$  секунды, т. е. одна миллисекунда.

Продолжительность импульса такого передатчика бывает обычно около одной микросекунды, а число импульсов в секунду равно 1 000, что соответствует установленной нами продолжительности промежутков между импульсами.

Сутки содержат 86 400 секунд. Значит, в течение суток

передатчик пошлёт  $86\,400 \cdot 1\,000 = 86\,400\,000$  импульсов продолжительностью до  $0,000001$  секунды каждый. Общая продолжительность всех импульсов составит:

$86\,400\,000 \cdot 0,000001 = 86,4$  секунды  $= 1$  минута  $26,4$  секунды.

При работе передатчика в течение 24 часов его выходной каскад будет фактически включен всего лишь на полторы минуты. Если эту цифру незначительно округлить, то получится, что один нормальный 8-часовой рабочий день выходной каскад импульсного передатчика, работающего в таком режиме, выполнит лишь за год.

Таков может быть несколько неожиданный итог наших подсчетов.



*Возможно ли*

## ТЕЛЕВИДЕНИЕ БЕЗ РАДИО

Одну из популярных публичных лекций о телевидении лектор начал вопросом, поставленным в заголовке: возможно ли телевидение без радио?

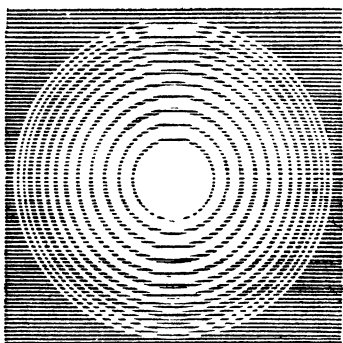
— Нет, — ответил он сам на свой вопрос, — невозможно. Телевидение — это видение на расстоянии. Мы могли бы построить мощные оптические приборы, которые позволили бы нам разглядеть что угодно на огромных расстояниях. Но эти приборы бесполезны, потому что Земля — шар. Кривизна земной поверхности ограничивает дальность видения при помощи оптических приборов... .

Прав ли лектор?

И прав и неправ. Он прав в том, что радио расширяет границы видения на расстоянии. Но он неправ в своей аргументации. Ссылка на кривизну земной поверхности неверна.

Дело совсем не в кривизне земной поверхности. Если бы Земля была плоской или — наивыгоднейший случай — имела вид вогнутой чаши, то все равно никакие оптические приборы не могли бы тягаться с телевидением. Опти-





ческие приборы имеют принципиальные недостатки, не позволяющие разглядеть при помощи этих приборов «что угодно» на любых расстояниях.

Причиной этого является диффракция световых волн — наблюдающееся во многих случаях отклонение световых волн от прямолинейного распространения.

Из-за диффракции каждая светящаяся точка изображения, получаемого при помощи оптических приборов, бывает окружена чередующимися темными и светлыми кольцами. Если точки слишком близки друг к другу, то их диффракционные кольца настолько переплетаются, что точки нельзя разделить. Возможность разделить две точки при наблюдении при помощи оптического прибора определяет его разрешающую способность. Диффракция кладет предел разрешающей способности оптических приборов. Из-за диффракции при помощи самых лучших сверхтелескопов нельзя прочесть газету на расстоянии десяти километров, а на расстоянии ста километров невозможно разглядеть черты лица человека.

Эти ограничения принципиального порядка не позволяют использовать непосредственно световые лучи для осуществления «оптического» телевидения. Применение радиоволн, т. е. радиотелевидение, дает возможность обойти это принципиальное препятствие, передавая изображения по искусственному пути, не связанному с распространением световых волн.

Надо отметить, что ограничивающее влияние кривизны земной поверхности, которое лектор отнес к оптическому телевидению, фактически в настоящее время сужает и возможности телевидения при помощи радиоволн. Но эти ограничения не имеют принципиального характера и могут быть преодолены.

По радиорелейным линиям телевизионные программы передаются на тысячи километров. Уже были пробные передачи телевизионных программ из Америки в Европу.



Сегодня по телевидению передают кинофильм, в котором участвуют ваши любимые актеры. Вы решили запечатлеть их образ на фотопленке. Это дело как будто нетрудное — фотоаппарат у вас хороший, вы располагаете пленкой весьма высокой чувствительности, а ваш телевизор дает очень яркое и четкое изображение. В таких условиях и при такой технике можно производить съемку с большой скоростью, не опасаясь недодержки. Прикинув, вы остановили выбор на экспозиции  $1/1000$ . При такой малой выдержке снимок наверняка не будет «смазан».

Вот снимки сделаны и проявлены. С нетерпением вы вынимаете пленку из проявочного бачка... Но, что это! Ни на одном снимке не получилось изображения, вернее, на каждом из них имеются лишь слабые следы изображения и какая-то узкая полоска, расположенная на некоторых кадрах вверху, на других — внизу или около середины. Есть даже один кадр, на котором совсем нет полоски.

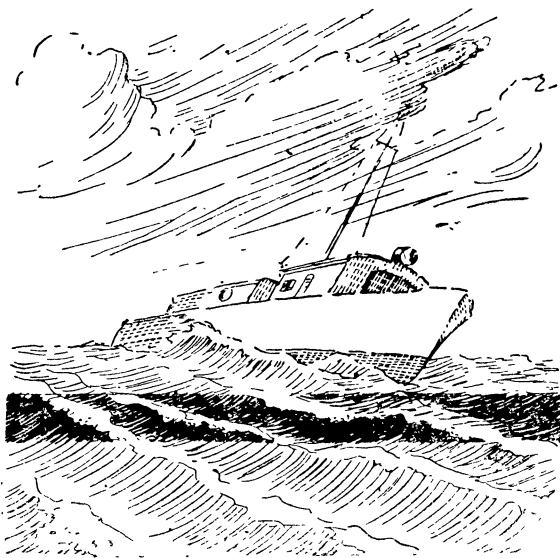
Вас прежде всего заинтересовали эти странные узкие полоски. Вы достаете лупу и разглядываете их. При увеличении в них можно кое-что разобрать. Вот глаз и часть носа, вот какая-то ветка...

Чем же объясняется такой странный результат съемки?

Объясняется он очень просто. Фотоаппарат с присущей ему беспристрастностью добросовестно показал то, на что был направлен его объектив. А в действительности на экране телевизора никаких изображений нет, нам только кажется, что они есть. Изображения на экране телевизора — обман зрения. Если бы мы могли открыть глаза только на десятую или сотую долю микросекунды, то увидели бы темный экран и на нем одну единственную маленькую светлую точку.

В каждый данный момент на экране телевизора светится лишь одна крохотная точка. Точка бежит по экрану, прочерчивая строку за строкой и постоянно изменяя свою яркость. Она то вспыхнет очень ярко, то почти погаснет,

а иногда и действительно совсем гаснет. За одну двадцать пятую долю секунды точка успевает прочертить весь экран сверху донизу, уложив на нем 625 строк, и снова вернуться к началу. Но наш глаз обладает способностью удерживать полученное изображение в течение примерно  $\frac{1}{15}$  секунды. Поэтому мы не различаем быстрого движе-



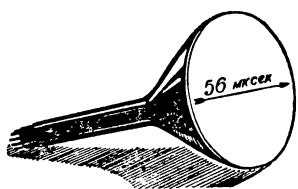
ния точки. След ее движения сливается для нас в одно связанное изображение, подобно тому как ракета представляется нам не в виде движущейся точки, а в виде яркой полосы на темном фоне ночного неба.

Но фотоаппарат обмануть нельзя. Он запечатлевает только то, что «видит» на самом деле. В нашем примере объектив фотоаппарата был открыт одну тысячную долю секунды. За такой промежуток времени точка успеет прочертить на экране всего  $15 \frac{1}{2}$  строк—узкую полосу, охватывающую собой  $\frac{1}{40}$  часть кадра (или с учетом черестрочной развертки —  $\frac{1}{20}$ ). Поэтому на каждом фотоснимке и оказалось лишь по такой узкой полоске, находившейся в той части кадра, где захватил ее открывшийся объектив аппарата.

Почему же все-таки на наших фотоснимках виден слабый намек на изображения. Это объясняется тем, что экран телевизионной трубки обладает некоторым послесвечением. Те точки экрана, которые только что облучил электронный луч, продолжают слабо светиться, постепенно затухая, в течение нескольких сотых или даже тысячных долей секунды. Это послесвечение в виде слабого следа изображения и запечатлел фотоснимок.

Чем же объяснить то, что на одном из снимков вообще ничего не получилось? Объяснение очень простое—снимок был сделан в промежутке между двумя кадрами, т. е. во время обратного хода луча от последней строки к первой. Продолжительность этого обратного хода как раз 0,001 секунды, т. е. равна времени нашей экспозиции. Если бы электронный луч во время обратного хода не гасился, то мы обнаружили бы на снимке косую линию, прочерчивающую экран снизу доверху. Но луч, совершающий обратный ход, гасится, поэтому он и не виден на фотопленке. На ней можно разглядеть лишь слабые контуры последних строк изображения — результат послесвечения экрана.

Отсюда вывод: фотографировать изображения на экране телевизора надо с выдержкой не менее  $\frac{1}{25}$  секунды, иначе полного кадра не получится. А при очень большой скорости фотосъемки (представим себе, что это возможно) мы получим на снимке даже не строку и не маленькую черточку, а всего лишь одну незаметную точку.



## *Тысячи километров по экрану* **ТЕЛЕВИЗОРА**

Строку за строкой прочерчивает электронный луч на экране телевизора. Из строк складываются неподвижные кадры, смена кадров порождает на экране движение. На экране плещется море, мчатся поезда и автомобили, работают станки, трудятся и отдыхают, веселятся и горюют люди. Полтора часа проводим мы перед экраном телеви-

зора, пока передается новый кинофильм, живем одной жизнью с его героями, вместе с ними преодолеваем препятствия и вместе с ними радуемся их успехам и победам.

Вот промелькнул последний кадр, и фильм закончился. Какое же расстояние и с какой скоростью пробежал электронный луч по экрану за эти полтора часа?

Это нетрудно подсчитать. По действующему у нас стандарту телевизионное изображение делится на 625 строк; в секунду передается 25 кадров. Следовательно, в секунду электронный луч прочерчивает

$$25 \cdot 625 = 15\,625 \text{ строк.}$$

Продолжительность прочерчивания одной строки составляет:

$$1 : 15\,625 = 0,000064 \text{ секунды} = 64 \text{ микросекунды.}$$

За эти 64 микросекунды электронный луч не только прочерчивает на экране видимую нами строку, но и совершает «прыжок» к началу следующей строки. Это время обратного хода равно примерно 8 микросекундам, поэтому действительная длительность пробега лучом одной строки равна приблизительно 56 микросекундам.

Теперь уже легко ответить на поставленные в начале вопросы. У телевизора с 18-сантиметровой (7-дюймовой) электроннолучевой трубкой длина строки 14 см. Значит, телевизионная «точка» за 56 микросекунд пробегаёт 14 см. В секунду она пробежит:

$$14 : 0,000056 = 250\,000 \text{ см,}$$

а за час еще в 3 600 раз больше:

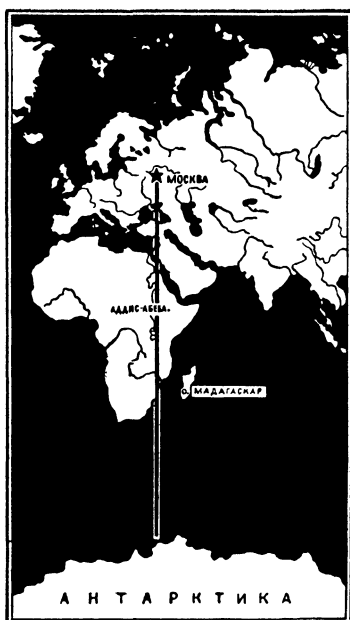
$$250\,000 \cdot 3\,600 = 900\,000\,000 \text{ см} = 9\,000 \text{ км.}$$

Телевизионная «точка» мчится по экрану телевизора КВН-49 со скоростью 9 000 км в час. Это вдвое быстрее винтовочной пули. Пуля современной боевой винтовки имеет начальную скорость 4 500 км в час. За время передачи кинокартины, т. е. за 1,5 часа, «точка» совершит по экрану телевизора путешествие в 13 500 км. Представим себе, что, начав свой бег в Москве, эта «точка» направилась на юг. Немногим больше чем через 8 минут она достигнет Черного моря в районе Новороссийска. Через 33 минуты после вылета из Москвы наша быстрокрылая «точка» пролетит мимо Аддис-Абебы — столицы Абиссинии. Еще через 7 минут она, несясь по равнинам Цен-

тральной Африки, вблизи озера Виктория пересечет экватор. Спустя 13 минут на траверзе острова Мадагаскар она расстанется с Великим Черным материком и ринется в воды Индийского океана. Наконец, в те секунды, когда мы будем прощаться с героями фильма, наша телевизионная «точка» достигнет Южного полярного круга и закончит свой стремительный бег где-то на подступах к Антарктике.

Такова «протяженность» кинокартины, разложенной на телевизионные строки. Заметим, кстати, что кинолента с кадрами этой картины имеет длину 2 700 м.

Несмотря на то, что приведенные цифры очень велики, они для телевидения являются минимальными, поскольку мы в качестве примера взяли экран телевизора КВН-49—самый маленький из телевизионных экранов. Экраны телевизоров многих других типов больше, поэтому и соответственные цифры для них тоже больше. Некоторые из них приведены в таблице.



Телевизор	Диаметр трубки (сантиметры)	Длина строки на экране (сантиметры)	Скорость движения «точки» по строке (километры в час)	Путь, пройденный «точкой» за 1,5 часа (километры)
КВН-49 . . . . .	18	14	9 000	13 500
Т-2 . . . . .	23	18	11 500	17 250
„Авангард“ . . . .	30	24	15 400	23 100
„Темп“ . . . . .	40	32	20 500	30 800
Т-4 (проеекционный) . . . . .	10	51	32 800	49 200
Проеекционный с экраном 3×4 м	23	400	258 000	385 000

Из таблицы видно, что особенно велики цифры, относящиеся к проекционным телевизорам. За время передачи кинокартины пробег точки по экрану клубного проекционного телевизора Т-4 на 9 000 км превышает длину окружности земного шара, т. е. «точка» совершит путешествие более длинное, чем кругосветное, а путь, проделываемый телевизионной точкой по экрану большого проекционного телевизора, равен расстоянию от Земли до Луны.

---



Одним из очень неприятных недостатков, резко ухудшающих качество телевизионных изображений, является двоение. Двоение состоит в появлении на экране справа от нормального изображения второго изображения, обычно значительно более слабого. Иногда на экране можно насчитать даже несколько таких повторных изображений.

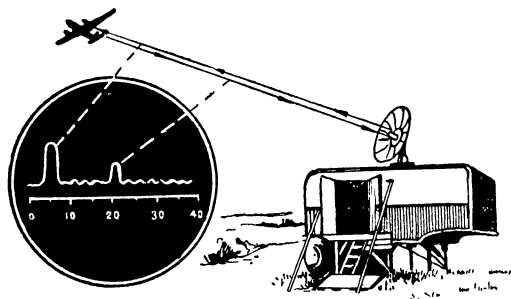
Чем же объясняется это неприятное явление?

Его объяснение очень интересно — двоение, троение и т. д. изображений часто объясняется тем, что телевизионная установка срабатывает как радиолокационная станция.

В чем состоит основная сущность работы радиолокационной станции? Она состоит в послышке короткого пучка радиоволн — зондирующего импульса и приеме его отражения от препятствия. На экране радиолокатора непрерывно происходит развертка по одной строке в середине экрана. В момент послышки зондирующего импульса в начале этой строки возникает вертикальный выброс; в момент приема отраженного сигнала на этой строке появляется второй выброс, разумеется, более слабый. Между послышкой зондирующего и приемом отраженного импульса проходит какой-то промежуток времени, поэтому выброс от отраженного луча располагается правее по строке. Так как скорость распростране-

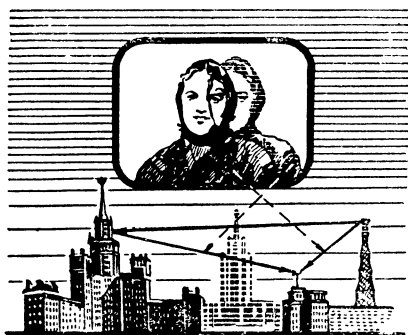
ния радиоволн постоянна и скорость развертки строки известна, то по расстоянию между выбросами на строке можно определить расстояние до предмета, отразившего луч.

По существу подобным же образом «срабатывает» и приемная телевизионная установка. Когда электромагнитная волна — сигнал, посланный передающей станцией, — достигает приемной антенны, в соответствующем месте



экрана появляется светящаяся точка. Если эта волна далее на своем пути встретит препятствие, то она от него отразится. Отраженный луч, достигнув снова приемной антенны, вызовет появление на строке второй точки, которая расположится правее первой.

Расстояние по строке между первой точкой, соответствующей принятому сигналу, и второй, соответствующей приему отраженного сигнала, определяется, как и в радиолокации, скоростью строчной развертки и расстоянием от приемной антенны до препятствия, от которого отразился луч. Эти «радиолокационные» данные телевизора не так трудно подсчитать.



Время развертки одной строки при существующем телевизионном стандарте составляет 56 микросекунд (см. стр. 200). У телевизора КВН-49 длина строки равна



140 мм, следовательно, луч пробегает по строке 1 мм за  $0,000056 : 140 = 0,0000004$  секунд = 0,4 микросекунды.

Скорость распространения радиоволн—300 000 000 м в секунду; за 0,4 микросекунды радиоволна пролетит

$$300\,000\,000 \cdot 0,0000004 = 120 \text{ м.}$$

Эти 120 м представляют собой тот путь, который радиоволна должна проделать от антенны до препятствия и обратно, поэтому расстояние от антенны до препятствия будет вдвое меньше, т. е. 60 м. Таким образом, один миллиметр строки на экране телевизора КВН или вообще любого телевизора с 18-сантиметровой (7-дюймовой) трубкой соответствует расстоянию до препятствия около 60 м. Если второе изображение получается на экране такого телевизора на расстоянии 2 мм правее основного, то, значит, волна отразилась от препятствия, находящегося примерно на 120 м позади антенны.

У телевизоров с электроннолучевыми трубками большего диаметра цифры будут другие, как это видно из таблицы.

Телевизор и диаметр трубки	Время пробега лучом 1 мм строки (микросекунды)	Расстояние между антенной и препятствием, соответствующее сдвигу на 1 мм (метры)
КВН (18 см) . . . . .	0,4	60
Т-2 (23 см) . . . . .	0,3	45
„Авангард“ (30 см) .	0,23	34,5

Наибольший сдвиг между изображениями (на экране КВН-49), который приходилось наблюдать, не превышал 25—30 мм, что соответствовало расстоянию до препятствия в 1,5 км. Вероятно, при более далеких расстояниях до препятствий отраженный луч оказывается настолько слабым, что не создает на экране видимого изображения. Здесь уместно заметить, что вся строка телевизора соответствует расстоянию до препятствия 8 км 400 м; другими словами, телевизор, как радиолокатор позволяет определять расстояния до отражающей «цели» в пределах до 8,4 км.

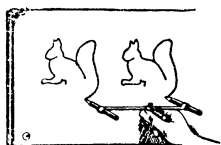
Второе изображение бывает отчетливо заметно на

экране телевизора тогда, когда сдвиг между основным изображением и отраженным составляет по крайней мере 0,5 мм. При меньших сдвигах мы уже не различаем двух изображений, но видим одно изображение, несколько смазанное, нечеткое. В этом отношении трудно указать какой-нибудь определенный предел, но, повидимому, стены домов, находящиеся позади антенны на расстоянии 3—4 м, не снижают заметно четкости изображения.

Следует отметить, что второе изображение может появиться не только при отражении сигнала от препятствия, находящегося позади антенны, но также и от препятствия, находящегося сбоку между приемной антенной и передающей станцией. В этом случае по величине сдвига изображений можно судить о том, насколько путь отраженного луча больше пути прямого луча.

Почему отраженный луч портит изображение, но не ухудшает звук? Ведь радиоволны звукового сопровождения отражаются точно так же, как волны, несущие сигналы изображения.

Теоретически искажения звука от воздействия на антенну отраженного сигнала, конечно, должны иметь место, но они столь незначительны, что мы их не можем заметить. На стр. 104 приводились данные, относящиеся к нашему слуховому восприятию. Услышать два звука раздельно можно лишь тогда, когда интервал между ними не менее  $\frac{1}{15}$  секунды, т. е. около 60 миллисекунд. Между тем отраженные лучи воздействуют на приемную антенну через несколько микросекунд. Если же длительность какого-либо звука увеличится на несколько микросекунд, то мы просто не заметим этого.



## *Как надо понимать* **СИНХРОННОСТЬ**

Раскройте любую книгу или статью, в которой рассказывается о принципах передачи и приема телевидения. В ней вы всегда найдете упоминание о необходимости строгого соблюдения синхронности и синфазности движения электронного луча в передающей трубке телеви-

зионного передатчика и электронных лучей в приемных трубках телевизоров. В любой момент луч передающей трубки и лучи приемных трубок должны находиться в одном и том же месте соответствующей строки, двигаясь в одном и том же направлении.

Так ли это? Соблюдается ли в действительности в телевидении это условие?

На этот вопрос надо ответить: нет, не соблюдается. В действительности электронные лучи в трубках движутся вразнобой. Это можно доказать.

Предположим, что в какой-то момент развертывающий луч передающей электроннолучевой трубки начал свое движение по первой строке. В соответствии с этим передатчик послал синхронизирующий импульс-сигнал, по которому должны начать движение по этой же строке электронные лучи всех приемных трубок.

Но ведь электромагнитные волны распространяются не мгновенно. Допустим, что наш телевизор находится на расстоянии трех километров от передатчика. Электромагнитные волны, распространяясь со скоростью 300 000 км в секунду, затратят на преодоление этого расстояния

$$\frac{3}{300\,000} = 0,00001 = 10 \text{ микросекунд.}$$

Можно сказать: стоит ли считаться с микросекундами!

Действительно, в нашем быту мы не ведем счета микросекундам. Это—слишком малый отрезок времени. Но в радиотехнике сверхвысоких частот микросекунда — не пустяк. Важнейший раздел радиотехники — радиолокация — своей сущностью основан на точном учете микросекунд. Нельзя пренебрегать микросекундами и в телевидении.

Луч приемной трубки телевизора, находящегося на расстоянии 3 км от передатчика, начнет движение спустя 10 микросекунд после начала движения луча передающей трубки. При принятом в нашей стране стандарте развертки луч пробегает строку за 56 микросекунд (см. стр. 200). В тот момент, когда луч приемной трубки начнет движение, луч передающей трубки пробежит уже почти пятую часть строки. Через 64 микросекунды луч передающей трубки уже начнет движение по следующей строке, а луч трубки нашего телевизора будет еще дочерчивать первую строку.

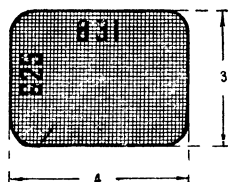
Еще больше будет расхождение на расстоянии 30 км от передатчика. Здесь отставание луча приемной трубки от луча передающей трубки составит уже 100 микросекунд или в переводе на строки — примерно на две строки (для простоты мы не учитываем время обратного хода луча).



Предельная дальность приема передач Московского телевизионного центра составляет около 200 км. Известны многочисленные примеры приема на таком расстоянии. Двести километров радиосигнал пробегает за 700 микросекунд, что соответствует запаздыванию больше чем на десять строк, а с учетом применяющейся у нас чересстрочной развертки — фактическому сдвигу по экрану на 20 строк. В то время, когда луч передающей трубки будет, предположим, снимать заряд с места мозаики, на котором спроектированы ноги одного из действующих лиц, луч приемной трубки будет трудиться в другом конце экрана над вырисовыванием, допустим, рук.

Таким образом, владельцы телевизоров, строго говоря, не видят на экранах одновременно одно и то же. Чем дальше от телевизионного передатчика находится телевизор, тем больше «запаздывает» изображение на его экране. Москвичи и туляки видят в один и тот же момент разные части передаваемого изображения.

число  
**СТРОК**  
"полоса"  
**ЧАСТОТ**



Четкость телевизионного изображения принято характеризовать числом строк, на которое оно делится. Это число часто называют стандартом четкости.

В начале 30-х годов у нас было 30-строчное телевидение. В конце 30-х годов, после перехода с механическо-

го телевидения на электронное, Ленинград вел передачи с разбивкой изображения на 240 строк, а Москва — на 343 строки. При возобновлении телевизионных передач после Великой Отечественной войны Ленинград применил разбивку на 420 строк, а Москва — на 625 строк. Вскоре разбивка изображения на 625 строк была закреплена как всесоюзный стандарт, обязательный для всех наших телевизионных передатчиков. Этот стандарт четкости — один из самых высоких в мире.

Но следует отметить, что одно только число строк не характеризует полностью четкость телевизионной передачи. Число строк определяет вертикальную четкость, т. е. то количество отдельных элементов, которое может содержать на экране телевизора вертикальная линия. Четкость же по горизонтали — число элементов, которое может содержать строка изображения, — зависит от полосы частот, излучаемой передатчиком и воспроизводимой приемником.

У нас принят формат изображения  $4 \times 3$ , т. е. длина изображения больше его высоты в 1,33 раза. Этот формат соответствует стандарту, принятому в кино; он приятен для глаза. По вертикали телевизионное изображение разбивается на 625 строк. Если считать, что каждый элемент изображения должен представлять собой квадратик со стороной, равной ширине строки, то число элементов в строке будет:

$$625 \cdot 1,33 = 831,$$

а всего изображение будет состоять из  $625 \cdot 831 = 520\,000$  элементов.

У такого изображения четкость по вертикали и горизонтали будет одинакова.

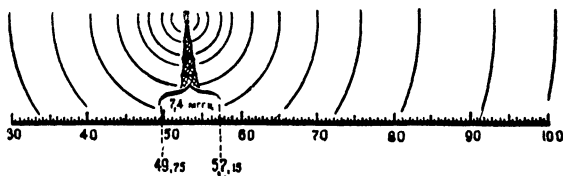
Определим длительность передачи одного элемента. Передача одной строки (см. стр. 200) продолжается 56 микросекунд, следовательно, продолжительность передачи одного элемента изображения равна:

$$56 : 831 = 0,067 \text{ микросекунды.}$$

Если один из двух квадратиков изображения, лежащих рядом на строке, белый, а другой черный, то ток, модулирующий телевизионный передатчик, должен измениться от минимума до максимума за время передачи двух элементов. Следовательно, частота этого тока должна быть

$$\frac{1}{2 \cdot 0,067 \cdot 10^{-6}} = 7\,400\,000 \text{ герц} = 7,4 \text{ мегагерца.}$$

А так как излучаемая передатчиком полоса частот (см. стр. 227) определяется высшей модулирующей частотой, то полоса телевизионной передачи должна составлять 7,4 мегагерца.



Надо заметить, что такая полоса частот еще не обеспечит резкого перехода яркости от квадрата к квадрату. Переходы будут не резкими, а постепенными, «размазанными». Для создания более или менее резкого перехода полоса частот должна быть еще в 2—3 раза шире. Однако на практике не удастся обеспечить и такую минимально необходимую полосу, как 7,4 мегагерца.

Наши современные телевизоры пропускают полосу около 4 мегагерц. Нетрудно подсчитать, что при такой полосе время передачи одного элемента составит не 0,067 микросекунды, а

$$\frac{10^6}{2 \cdot 4 \cdot 10^3} = 0,125 \text{ микросекунды.}$$

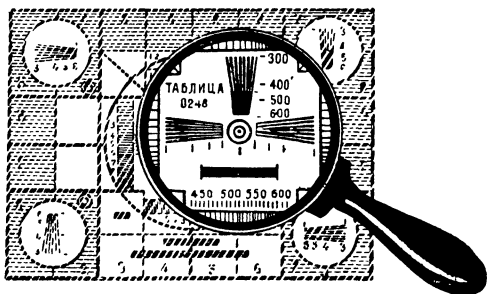
При такой длительности передачи одного элемента в строке будет содержаться

$$\frac{56}{0,125} = 450 \text{ элементов.}$$

Это и есть та самая четкость или «число строк», которая определяется по вертикальному клину испытательной телевизионной таблицы, т. е. фактическая четкость изображения по горизонтали. Клин этот построен так, что цифра, которая находится у той его части, где еще можно различить в отдельности вертикальные линии, соответствует наибольшему числу элементов, которое можно различить в строке изображения. При полном использовании стандарта горизонтальная строка изображения должна состоять из 831 элемента, фактически же

при полосе 4 мегагерца она состоит всего из 450 элементов, а все изображение вместо 520 000 элементов состоит лишь из

$$625 \cdot 450 \approx 280\,000 \text{ элементов.}$$



Ниже помещена таблица, в которой приведены значения четкости по горизонтали и общее число элементов в изображении при различных полосах частот.

Полоса частот (мегагерцы)	Число элементов в строке	Число элементов в изображении
3	340	212 000
3,5	400	250 000
4	450	280 000
4,5	500	312 000
5	560	350 000

Из таблицы видно, что если, например, число строк, определенное по вертикальному клину испытательной таблицы, равно 425, то полоса частот, воспроизводимая телевизором, составляет примерно 3,75 мегагерца.

Таким образом, четкость телевизионных изображений определяется не только числом строк, но и полосой частот.

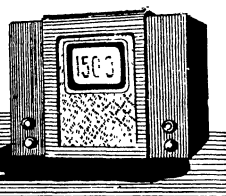
Первое характеризует четкость по вертикали, а вторая — по горизонтали. При данном числе строк четкость по горизонтали тем выше, чем шире полоса частот. Наибольшее число элементов, из которых составляется изображение, равно произведению числа строк на цифру, характеризующую четкость по горизонтали.

Естественно, что ширина пропускаемой полосы частот зависит не только от телевизора, но и от антенны. Лучшие телевизионные антенны поэтому и называются широкополосными.

# НАИБОЛЬШЕЕ

## ЧИСЛО

# Строк



По принятому у нас стандарту четкости телевизионные изображения разбиваются на 625 строк. Фактически зритель по ряду причин получает на экране своего телевизора изображение меньшей четкости. Сравнительно хорошо обстоит дело с четкостью по вертикали, где практически «пропадает» всего несколько процентов строк из полагающихся по стандарту шестисот двадцати пяти. Четкость по горизонтали бывает значительно меньше, колеблясь практически в пределах от 350 до 450 строк (см. стр. 210).

Какова же четкость кино в переводе на язык телевизионного стандарта и какова вообще наивысшая возможная четкость, обуславливаемая физическими особенностями органов нашего зрения?

Четкость узкоплёночного кино в зависимости от качества кинофильма лежит в пределах примерно от 600 до 900 строк телевизионного стандарта. Четкость обычного кино примерно в полтора раза больше. Она достигает в среднем 1 100—1 200 строк. Предел четкости киноизображений определяется несколькими причинами. Главнейшей из них является то, что фотографы называют «зернистостью», т. е. зернистой структурой изображения на фотопленке. Следует отметить, что в кино в отличие от телевидения четкость по вертикали и горизонтали одинакова.

Наш глаз не может различить бесконечное количество строк или отдельных элементов. Сетчатая оболочка глаза состоит из окончаний зрительного нерва, которые воспринимают световые раздражения и передают их в зрительные центры головного мозга. Для того чтобы мы могли получить представление о форме и подробностях предмета, надо, чтобы его изображение на сетчатой оболочке покрыло по крайней мере несколько окончаний зрительного нерва. Если изображение предмета ляжет лишь



на одно нервное окончание, то мы увидим только точку; подробности строения и формы предмета исчезнут.

К этому прибавляется также дифракционное действие зрачка (см. стр. 196). Все это приводит к тому, что наш глаз способен рассмотреть лишь те детали, которые он видит под углом не менее одной минуты. Исходя из этого, можно вычислить, что изображение на экране телевизора КВН-49, т. е. размером  $10 \times 14$  см, должно быть разделено на 1 400—1 500 строк. Подобный стандарт будет соответствовать «натуре». При таком стандарте мы будем видеть изображения на экране с такой же четкостью, как в действительности. Более мелкие детали изображения уже не будут различаться глазом. Этот стандарт будет действителен и для телевизионных экранов больших размеров, если считать, что на них будут смотреть с соответственно больших расстояний.

Таким образом, четкость кино составляет примерно две трети оптимальной нормы, а четкость современных телевизоров равна приблизительно одной трети ее.



На стр. 210 приводились данные фактического числа элементов в телевизионном изображении при стандарте 625 строк и полосе пропускаемых частот 3—4 мегагерца.

Каковы же «параметры» человеческого глаза в переводе на величины телевизионного стандарта?

Нормальный глаз в наилучших условиях может разглядеть на площади, равной телевизионному экрану, примерно 1 500 горизонтальных строк. В такой строке будет:

$$1\,500 \cdot 1,33 \approx 2\,000 \text{ элементов.}$$

Общее число элементов в изображении составит:

$$2\,000 \cdot 1\,500 = 3\,000\,000.$$

Длительность передачи одной строки (при 25 кадрах в секунду) составит:

$$\frac{1}{25 \cdot 1500} \simeq 0,00003 \text{ секунды} = 30 \text{ микросекунд,}$$

а с учетом обратного хода луча (см. стр. 200) 22 микросекунды.

Длительность передачи одного элемента будет:

$$22 : 2\,000 = 0,01 \text{ микросекунды.}$$

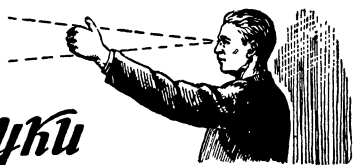
Полоса частот, нужная для такой передачи при условии четкой границы между двумя соседними элементами, составит около 150 мегагерц.

Таким образом, «телевизионные параметры» нашего глаза таковы:

Число строк . . . . .	1 500
Полоса частот . . . . .	150 мггц
Видимое число элементов в изображении . . . . .	3 000 000

Поскольку частота модуляции должна быть по крайней мере в 10 раз меньше несущей частоты передатчика, эта несущая не может быть меньше 1 500 мегагерц. Частота 1 500 мегагерц соответствует волне 20 см. Таким образом, для передачи телевизионных изображений с размерами, определяемыми углом зрения по горизонтали  $12^\circ$ , при формате изображения  $4 \times 3$  и с четкостью, равной разрешающей способности глаза, ультракороткие волны не годятся. Они не могут вместить необходимую для такой передачи полосу частот. Для этой цели пришлось бы использовать волны не длиннее 20 см, т. е. наиболее короткие дециметровые волны.

## ЛАДОНЬ на расстоянии вытянутой руки



Разрешающая способность нашего глаза позволяет нам при благоприятном освещении различить две черные линии на белом фоне лишь в том случае, если про-

межуток между ними виден под углом не менее чем в одну минуту.

Из геометрии известно, что под углом в одну минуту виден предмет, удаленный на расстояние, в 3 440 раз превышающее его поперечник. Линейка длиной 1 м видна под углом в 1 минуту с расстояния 3 440 м. Следовательно, чтобы увидеть раздельно две линии на экране, находящемся на расстоянии 3,4 м, надо, чтобы расстояние между линиями было не меньше 1 мм.

При освещении более или менее сильном, чем оптимальное, разрешающая способность глаза уменьшается. Опыты показывают, что при той освещенности, какую имеет в среднем телевизионный экран, разрешающая способность глаза составляет примерно 1,5 минуты. Из этого следует, что на экране высотой 45 см, находящемся на расстоянии 3 м, глаз различает примерно 300 горизонтальных линий.

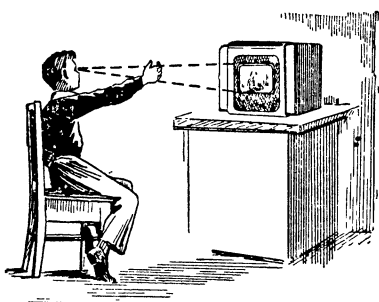
Эти последние цифры имеют прямое отношение к нашему телевизионному стандарту. Если мы различаем на белом экране 300 горизонтальных линий, то это означает, что на экране нанесено 600 чередующихся черных и белых линий.

Это и есть наш телевизионный стандарт. Этим стандартом предусмотрена развертка изображения на 625 строк, но фактически на экране телевизоров получается несколько меньше строк — примерно около 600. Стандарт установлен, исходя из того, что наш глаз способен разглядеть 600 строк на экране высотой 45 см на расстоянии 3 м.

Отношение расстояния от глаза до экрана — 3 м — к высоте экрана — 45 см — равно семи. Эта цифра очень важна: она определяет наилучшее расстояние, с которого надо смотреть на экран телевизора. Как видно из приведенного расчета, оно равно семикратной высоте экрана. У телевизора КВН-49 высота экрана 10 см, значит, на него надо смотреть с расстояния 70 см, чтобы обеспечить условия наилучшей видимости. В помещенной далее таблице приведены расстояния наилучшей видимости для распространенных размеров телевизионных экранов.

При большем удалении от экрана нормальный человеческий глаз не сможет разглядеть наиболее мелкие подробности изображения; на более близком расстоянии

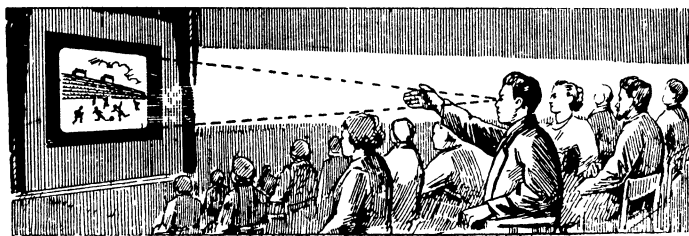
Размер экрана (сантиметры)	Расстояние, с которого надо смотреть, (сантиметры)
10 × 14	70
13 × 18	90
18 × 24	130
24 × 32	170
39 × 51	280
300 × 400	2 100



будет сказываться полосатость изображения, т. е. станут резко видны строки.

Для того чтобы найти хорошую позицию перед экраном телевизора, нет нужды обязательно вооружаться метром. Очень удобно пользоваться для этого рукой. Расстояние до экрана телевизора будет нормальным в том случае, когда ладонь вытянутой вперед руки примерно полностью закрывает экран. Воспользуйтесь этим приемом и вы убедитесь, что он действительно помогает легко найти наиболее выгодное расстояние до экрана. Если вы пользуетесь телевизором с линзой и экран имеет большие видимые размеры, чем в приведенной выше таблице, то вам придется отодвинуться от него дальше. При любом размере экрана наилучшая видимость будет тогда, когда ладонь вытянутой руки примерно совпадет с экраном.

Интересно, что этот прием действителен и в кино. Если сесть в кинотеатре на самые лучшие места — примерно в 14—15—16 ряду и вытянуть перед собой руку, то ладонь как раз закроет экран. Из более близких рядов изображение на экране уже представляется несколько расплывчатым, а из более далеких — его видимые размеры уменьшаются настолько, что наиболее мелкие детали

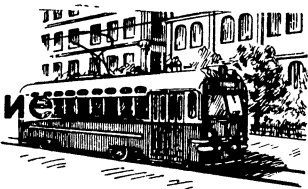


изображения уже пропадают. Средние ряды обеспечивают наивысшую четкость и оптимальный размер изображения.

Это, между прочим, показывает ошибочность утверждений, что «в кино видно лучше, чем в телевидении, потому что киноэкран больше». В кино экран действительно больше, чем у телевизоров, но зрители сидят от него гораздо дальше, поэтому видимые размеры киноэкрана и экрана телевизионного примерно одинаковы. Применяв упомянутый метод «вытянутой руки», легко убедиться в этом. Телевизионный экран и киноэкран из лучших рядов мы видим под одинаковым углом — около  $12^\circ$  по горизонтали. Но мы знаем, что киноэкран больше, поэтому нам кажется, что его угловые размеры больше. Сказывается здесь также и то, что, когда мы смотрим на более близкий телевизионный экран, нам приходится больше сводить оптические оси обоих глаз, чем когда мы смотрим на более удаленный киноэкран, а по мышечному усилию, нужному для этого, мы бессознательно привыкли оценивать расстояние.

Видно в кино лучше главным образом потому, что там выше четкость. На киноэкране число элементов доходит до полутора миллиона. Подобная четкость в телевидении еще не достигнута, но нет сомнения, что она будет достигнута в не столь отдаленном будущем.

## КОГДА короткое замыкание ПОЛЕЗНО



По железной дороге мчится электропоезд. За поворотом машинист увидел на пути препятствие — поезд надо немедленно остановить.

В эти немногие секунды, отделяющие поезд от возможной катастрофы, вопрос жизни или смерти решают тормоза.

«Паровые» поезда оборудованы пневматическими тормозами. У этих тормозов много хороших качеств, но есть и серьезные недостатки. Если тормозные колодки зажмут

колеса слабо, то торможение будет слишком медленным, тормозной путь окажется слишком большим. Но и сильное торможение опасно: колеса, зажатые намертво, могут продолжать движение «юзом» — начнут скользить по рельсам, не вращаясь. В некоторых случаях — во время снегопада, гололеда, при попадании на рельсы листьев и хвои «юз» может быть длительным. Недаром осенью на трамвайных путях появляются надписи: «Осторожно! Листопад!». Это значит: «Бойся юза!».

В распоряжении водителя электропоезда есть электрический тормоз.

Представьте себе, что в случае необходимости остановить электропоезд мы прекратим подачу тока в электродвигатели и замкнем их накоротко. Что при этом произойдет? Поезд будет продолжать движение по инерции, его колеса будут вращать роторы двигателей. В силу обратимости электрических машин двигатели превратятся в генераторы и начнут вырабатывать ток. Ток этот потечет через замыкающий провод и станет нагревать его. На нагревание будет расходоваться энергия, источником которой является кинетическая энергия движущегося по инерции поезда. Энергия движения начнет превращаться в тепло. При коротком замыкании мощного двигателя, ставшего генератором, выделение тепла будет огромно, энергия движения быстро исчерпается, и поезд остановится.

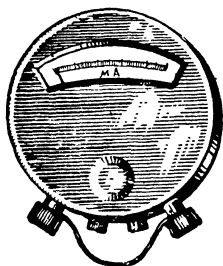
Замечательной особенностью этого тормоза является отсутствие трущихся частей и невозможность «юза». Первое очевидно само собой, так как электрическое торможение осуществляется путем взаимодействия проводов ротора двигателя с магнитным полем. Второе нуждается в пояснении.

«Юз» при электрическом торможении невозможен, потому что это торможение существует только тогда, когда колеса вращаются, а вместе с ними вращаются и электродвигатели, вырабатывающие в силу этого ток. Если колеса остановятся и начнется скольжение «юзом», то немедленно прекратится и торможение, т. е. та самая причина, которая вынуждает колесо прекратить вращение.

При коротком замыкании двигателя торможение будет самым интенсивным. Если замкнуть двигатель на реостат, то подбором его сопротивления можно регулировать величину торможения. Отсюда и применяемое иногда на-

звание «реостатный тормоз». Можно замкнуть двигатель не на реостат, а на линию; тогда он начнет отдавать энергию в линию. Это будет так называемый рекуперативный тормоз. Реостатные тормоза применяются для экстренного торможения в трамваях, метро, электропоездах. Электровозы оборудованы рекуперативными тормозами.

Читатель, вероятно, недоумевает, какое отношение все это имеет к радиотехнике. Однако отношение есть: такое же электрическое торможение часто применяется в



различных электроизмерительных приборах в виде всевозможных магнитных успокоителей, в которых энергия движения расходуется на создание вихревых токов. Им часто пользуются для защиты от повреждений чувствительных измерительных приборов, таких, как гальванометры, микроамперметры и милливольтметры, встречающиеся в радиолюбительской практике. Эти

приборы по окончании работы с ними рекомендуется замыкать накоротко, т. е. замыкать их выводные клеммы медным проводом.

Для чего это делается?

Рамка измерительного прибора, представляющая собой катушку со многими витками провода, находится в поле постоянного магнита. Это — электродвигатель. Если рамка начнет вращаться под действием внешнего механического усилия, то в ее обмотке возникнет ток. Замыкая клеммы прибора проводником, мы делаем то же самое, что делается при торможении электропоезда: заставляем энергию движения рамки затрачиваться на нагревание короткого замыкания.

В каких же случаях рамка может начать двигаться? Это может произойти при переноске прибора, случайных толчках и т. д. При резких движениях рамка и закрепленная с ней тонкая нежная стрелка могут получить повреждения. Чтобы этого не произошло, рамку надо затормозить. Тормозить рамку механическим тормозом опасно; сама рамка, ее ось и подшипники очень тонки и хрупки; механическое зажатие легко может повредить рамку.

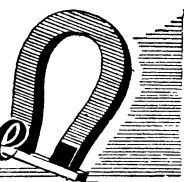
Электрическое торможение свободно от этих недостатков. Это торможение чрезвычайно эффективное и в то же время не является механическим. Тормозящее усилие равномерно распределяется по всем виткам рамки. Рамка как бы попадает в густую и вязкую среду, которая не дает ей возможности быстро двигаться. При коротком замыкании рамки такой «вязкой средой» является магнитное поле, в котором рамка находится.

Электрическое торможение имеет место и в динамических громкоговорителях, способствуя их лучшей работе. Звуковая катушка динамика находится в сильном магнитном поле, а электрически она замкнута на вторичную обмотку выходного трансформатора. У каждого динамика есть своя резонансная частота, на которой его диффузор колеблется с особенно большими амплитудами, создавая на этой частоте очень неприятные выкрики. Но при таких «собственных» колебаниях обмотка звуковой катушки пересекает силовые линии магнитного поля, и в ней возбуждается ток, который затрачивается на нагревание проводов самой катушки и обмоток трансформатора вместе с их нагрузками, вследствие чего диффузор тормозится.

Это самоторможение звуковой катушки сглаживает колебания диффузора на резонансных частотах и способствует выравниванию характеристик динамических громкоговорителей.

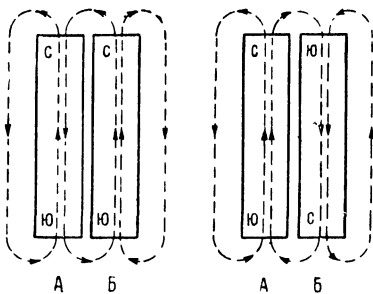
---

## ЕЩЕ ОДНО *короткое* *замыкание*



Чувствительные измерительные приборы не являются единственным предметом оборудования радиолюбительской лаборатории, нуждающимся в коротком замыкании во время своего «отдыха». К их числу относятся также постоянные магниты. Постоянные магниты, в особенности в тех случаях, когда они имеют подковообразную форму, как, например, магниты от граммофонных звукоснимателей, при хранении следует замыкать сталь-





ным ярмом (железным брусом), соединяющим их полюса.

На первый взгляд (по аналогии с гальваническими элементами и аккумуляторами) кажется, что замкнутый накоротко магнит должен скорее «израсходоваться», чем незамкнутый. Между тем

«расходуется», т. е. размагничивается, именно незамкнутый магнит. Представим себе, что у нас есть два прямолинейных магнита. Мы хотим хранить их в одной коробке. Как сложить их — так, чтобы рядом находились одноименные полюса или разноименные?

Очевидно, если сложить магниты вместе одноименными полюсами, то внешние магнитные силовые линии каждого из них будут проходить через другой магнит в направлении, противоположном его собственным силовым линиям, т. е. магниты будут ослаблять друг друга. Магниты надо сложить вместе разноименными полюсами; тогда внешние силовые линии каждого магнита будут складываться с линиями, проходящими внутри другого магнита, т. е. магниты будут намагничивать друг друга.

Каждый магнит можно рассматривать как большое количество тонких магнитов, сложенных вместе одноименными полюсами, и стремящихся поэтому, как мы только что видели, размагнитить друг друга. Так в действительности и происходит. Каждый прямолинейный или подковообразный магнит размагничивает сам себя, причем это размагничивание сказывается тем сильнее, чем короче и толще магнит.

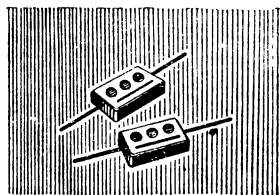
Как можно было бы избежать этого? С этой целью можно было бы согнуть магнит так, чтобы его полюса сомкнулись; тогда внешнее силовое поле магнита исчезнет. Силовые линии, которые должны были бы образовывать его внешнее поле, из северного полюса магнита попадут непосредственно в его южный полюс, т. е. туда, куда они и стремятся попасть. У кольцеобразного магнита нет внешнего поля, поэтому он не размагничивает сам себя. Когда мы складывали два магнита прямолинейной формы разноименными полюсами вместе, мы создавали

такой же замкнутый магнит. Не имеет существенного значения то, что он получился не кольцеобразной формы. Важно то, что его магнитная цепь замкнута и направление силовых линий по всей цепи одинаково.

Конечно, мы не можем сгибать магниты в кольца и оставлять их в таком виде до тех пор, пока они не потребуются нам. Но мы можем замкнуть их полюса стальным ярмом. Путь в стали силовым линиям гораздо более легок, чем путь в воздухе, поэтому через это ярмо устремится весь внешний магнитный поток нашего магнита. Ярмо само станет магнитом, у которого северный полюс будет сложен с южным полюсом основного магнита. В такой замкнутой системе все составляющие ее части не размагничивают, а наоборот, намагничивают друг друга. Поэтому замыкание ярмом способствует сохранности магнита.

---

## В 25 РАЗ ТОНЬШЕ ВОЛОСА



Очень распространенным диэлектриком в конденсаторах постоянной емкости служит слюда — материал, весьма легко расслаивающийся. Толщина листочков слюды в таких конденсаторах измеряется десятymi и даже сотыми долями миллиметра, но тем не менее они продолжают расслаиваться. Интересно, какова же наименьшая достижимая толщина листочков слюды.

Наименьшая толщина листочка слюды, какую пока удалось получить, — около 4 микрон (0,004 мм). Эти листки в 25 раз тоньше человеческого волоса (в среднем 100 микрон) и даже тоньше паутинной нити, толщина которой около 5 микрон.

В бумажных конденсаторах в качестве прокладок используется специальная тонкая и прочная конденсаторная бумага. Наиболее тонкие ее сорта имеют толщину 7—8 микрон. Более тонкую бумагу изготовить в промышленных масштабах пока не удается.

# Еще в четыре раза ТОНЬШЕ



Сверхтонкие листки, которые можно получить расщеплением слюды, кажутся, однако, достаточно толстыми по сравнению с другим материалом, применяемым в одном из разделов радиотехники — пьезотехнике.

Как известно, пьезоэлементы, являющиеся основной частью пьезоэлектрических телефонных трубок, звуко-снимателей и микрофонов, должны быть покрыты с двух сторон проводящим слоем. В качестве такого слоя применяется сусальное серебро — серебряная фольга толщиной около одного микрона. Листик такой фольги, будучи брошен, опускается очень медленно. Он как бы плавает в воздухе.

Один микрон представляет собой меру, уже сопоставимую с длиной видимых световых лучей. Наш глаз реагирует на электромагнитные колебания с длиной волны, начиная от 0,76 микрона.

Интересно, что искусством изготовления сусального золота и серебра русские умельцы овладели очень давно. Столь тонкие листки металла требовались для золочения и серебрения, и русские мастера изготавливали их вручную, выбивая деревянными молоточками на натянутой свиной коже.



В технике связи, звукозаписи, акустике принято характеризовать источники звуков, а также каналы и аппаратуру, служащие для их передачи и воспроизведения, полосой частот. Под полосой частот понимаются те пределы,

между которыми лежат частоты источника звуков, или те пределы частот, которые данным устройством могут быть пропущены и воспроизведены.

Общезвестно, что техника связи и звукозаписи в настоящее время не имеет еще возможности оперировать такими полосами частот, какие требуются для полной естественности звучания. Например, для хорошего воспроизведения человеческого голоса нужна полоса частот по крайней мере в 12 000—15 000 герц, а радиовещательные станции по ряду причин могут использовать полосу лишь в 4 500 герц. В связи с этим интересно познаться с тем, каковы те полосы частот, которые в настоящее время используются различными видами связи.

Род передачи	Используется полоса частот
Ручной телеграф . . . . .	60 герц
Быстродействующий телеграф . .	1 200 „
Телефон (разговор) . . . . .	3 400 „
Радиовещание с амплитудной модуляцией . . . . .	4 500 „
Фототелеграф . . . . .	5 500 „
Трехканальная аппаратура связи	30 000 „
Радиовещание с частотной модуляцией и обычной величиной девиации . . . . .	75 000 „
12-канальная аппаратура связи . .	150 000 „
Телевидение . . . . .	8 000 000 „
Радиолокация . . . . .	10 000 000 „

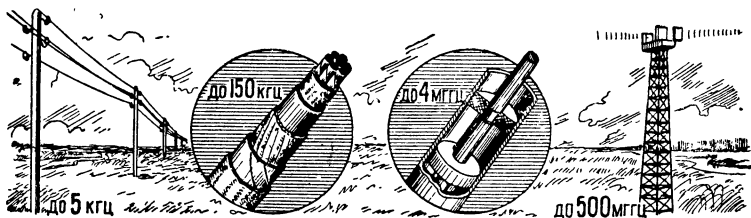
Из перечисленной в таблице аппаратуры радиолюбителям наименее известна многоканальная аппаратура. Это—высокочастотная аппаратура проводной связи, в широкой полосе частот которой выделено несколько более узких полос, каждая из которых включает несущую частоту («поднесущую»), модулированную своей звуковой частотой и может быть применена для передачи. Например, трехканальная аппаратура имеет три таких канала со своими поднесущими частотами. Каждый из каналов может быть использован для одного двустороннего телефонного разговора или 18 телеграфных передач. Следовательно, по трехканальной аппаратуре могут быть одновременно переданы, например, два телефонных раз-

говора и 18 телеграфных передач, не считая одного обычного телефонного разговора, который может производиться по тем же проводам на звуковой частоте.

В помещенной ниже таблице приведены полосы частот, которые могут пропускаться современными каналами проводной связи и специальными радиоканалами.

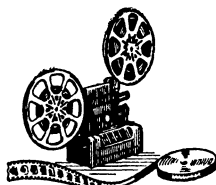
Канал связи	Ширина полосы частот
Обычная междугородная проводная линия (без дополнительных устройств) . . . . .	5 000 герц
Высокочастотный кабель . . . . .	150 000 "
Специальный междугородный коаксиальный кабель . . . . .	4 000 000 "
Радиорелейная линия (на сантиметровых волнах) . . . . .	500 000 000 "

Как видно из этой небольшой таблицы, частотная пропускная способность обычной проводной линии очень мала. Высокочастотные кабели пропускают такую полосу частот, что по ним можно одновременно производить передачу радиовещательной программы, фототелеграфа и очень большого числа телефонных разговоров и телеграфных сообщений. Специальный высокочастотный коаксиальный кабель может быть использован даже для телевизионных передач, правда, с некоторым снижением четкости. Рекорд ширины полосы побивают радиорелейные линии. По радиорелейной линии можно одновременно пропускать не только телевизионные передачи с полной четкостью, но и большое количество радио- и фотопередач, телефонных разговоров и пр. Этим и объясняется то особое внимание, которое уделяется теперь развитию радиорелейных линий связи.

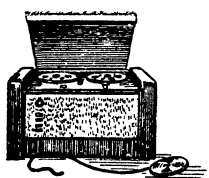




60-6000 гц



50-7000 гц



30-10000 гц

Радиовещательные передачи на длинных и средних волнах ограничены уже указанной полосой 4 500 герц. Такая сравнительно узкая полоса определяется необходимостью размещения в этих диапазонах возможно большего числа передающих станций, которые могли бы работать без взаимных помех. На коротких волнах, охватывающих значительно больший частотный диапазон, станции могут быть размещены «свободнее», поэтому они используют более широкую полосу частот — до 5—6 тысяч герц и их передачи звучат естественнее, «сочнее», чем на длинных и средних волнах. Еще «свободнее» на ультракоротких волнах, в особенности при частотной модуляции, где может быть передана полностью вся полоса слышимых частот с естественной градацией громкости.

Какова же полоса частот звукозаписывающих устройств? Эти данные по основным видам звукозаписи приведены в таблице.

Вид звукозаписи	Полоса записываемых частот (герцы)
Механическая запись (граммофонная пластинка) . . . . .	60 — 6 000
Оптическая запись (кинолента) . . . . .	50 — 7 000
Магнитная запись (ферромагнитная лента) . . . . .	30 — 10 000

Как видим, наиболее широкая полоса частот может быть записана магнитным способом. Хорошие современные магнитофоны практически записывают почти целиком всю полосу частот, обеспечивающую очень хорошее восприятие.

Какова же полоса частот, пропускаемых современны-

ми воспроизводящими устройствами? Ведь именно они определяют качество звучания. Как бы ни были хороши качества микрофонов, передатчиков, линий, усилителей, граммофонных пластинок, ферромагнитных лент и т. п., наше ухо воспримет лишь то, что воспроизведет последнее звено цепочки — звуковоспроизводящее устройство. Этими воспроизводящими устройствами являются в настоящее время механические звуковоспроизводители



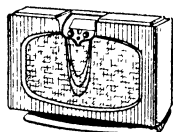
100 - 4000 гц



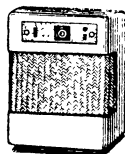
80 - 5000 гц



60 - 6500 гц



40 - 10 000 гц



30 - 15 000 гц



граммофонов и электродинамические громкоговорители, применяемые для воспроизведения оптической и магнитной звукозаписи и радиопередач. В следующей таблице приведены данные о полосе частот, воспроизводимой этими устройствами.

Звуковоспроизводящее устройство	Полоса воспроизводимых частот (герцы)
Механическое (мембрана — рупор граммофона) . . . . .	100 — 4 000
Хороший электродинамический громкоговоритель . . . . .	80 — 5 000
Агрегат из двух громкоговорителей (соответствующий радиолы I класса) . . . . .	50 — 6 500
Агрегат из нескольких громкоговорителей высокого класса (лучшие радиолы и киноустановки)	40 — 12 000
Наилучшие агрегаты из нескольких громкоговорителей высшего качества (контрольные установки) . . . . .	30 — 15 000

Эта таблица поясняет, почему воспроизведение граммпластинок электрическим способом превосходит по качеству акустическое воспроизведение: граммофон не в состоянии передать такую полосу, какая записана на граммпластинке, тогда как хорошие электрические громкоговорящие установки воспроизводят ее полностью. Вообще же лучшие агрегаты громкоговорителей воспроизводят более широкую полосу, чем та, которая может быть любым способом записана. Техника воспроизведения в настоящее время обогнала технику записи.

## $F \geq 10F$ НЕСУЩ. МОДУЛЯЦ.

# ПОЛОСА ЧАСТОТ И ЧАСТОТА ПЕРЕДАЧИ

На стр. 223 указаны полосы частот, необходимые для передач различных видов. Разница в ширине этих полос огромна: от нескольких десятков герц, нужных для ручной телеграфной передачи, до нескольких миллионов герц, требующихся для телевидения.

Ширина полосы частот тесно связана с частотой передатчика, который будет вести эту передачу.

Предположим, что мы подбираем частоту для радиовещательного передатчика с амплитудной модуляцией. Свободны ли мы в этом выборе, можем ли мы остановиться на любой понравившейся нам частоте, например на частоте, соответствующей волне 10 000 м?

Нет, не можем. Между частотой передатчика и шириной полосы передаваемых частот существует зависимость — обычно считается, что ширина полосы передаваемых частот не должна превышать примерно 10 % частоты передатчика, т. е. его несущей частоты. Полоса частот радиовещательной передачи должна составлять 4 500 герц, т. е. 4,5 килогерц. Поэтому для радиовещательной передачи с амплитудной модуляцией нужна несущая частота не менее 45 килогерц, т. е. волна не длиннее 6 600 м, а для телефонной передачи, для которой требуется полоса 3,4 килогерц, нужен передатчик, работающий на волне не длиннее 8,800 м. Радиовещательные передачи на волнах длиннее 6 600 м и телефонные на



волнах длиннее 8 800 м будут сопровождаться искажениями, тем большими, чем значительнее длина волны превышает указанные предельные значения.

В следующей ниже таблице приведены некоторые длины волн и соответствующие им крайние значения возможной для передачи полосы частот.

Длина волны (метры)	Частота (килоггерцы)	Наибольшая ширина полосы частот, возможной для передачи (килоггерцы)
20 000	15	1,5
10 000	30	3
2 000	150	15
1 000	300	30
200	1 500	150
100	3 000	300
20	15 000	1 500
10	30 000	3 000
2	150 000	15 000

Из этой таблицы видно, что волны длиннее 10 000 м пригодны только для телеграфной передачи. Фототелеграфная передача может производиться на волнах примерно такой же длины, как и радиовещательные передачи с амплитудной модуляцией и т. д. Для телевизионных передач пригодны лишь очень короткие волны — короче 10 м. Фактически для телевидения используются волны порядка 0,5—7 м.

## ЭВОЛЮЦИЯ

### детектора



С момента, когда А. С. Попов впервые применил свой детектор для обнаружения электромагнитных волн, прошло почти 60 лет. С тех пор детектор, как и все прочие элементы радиоприемника, непрерывно подвергался усовершенствованиям, но до сего времени продолжает оставаться обязательной частью каждого радиоприемника.

Небезинтересно проследить за изменениями, которые детектор претерпел за это время.

В приемнике А. С. Попова детектором служила трубочка, наполненная мелкими металлическими опилками, — когерер. Под действием электромагнитных колебаний сопротивление промежутка, заполненного опилками, резко уменьшалось, и это обстоятельство А. С. Попов использовал для обнаружения электромагнитных волн в окружающем пространстве.

Когерер имеет очень малую чувствительность. Он не мог найти широкого применения и вскоре был заменен детектором, состоявшим вначале из пары уголь — сталь (А. С. Попов, 1901 г.), а потом из кристалла какого-либо минерала и прикасающегося к нему металлического острия. Работа детектора основывалась на свойстве такой пары хорошо проводить ток в одном направлении и почти не проводить его в обратном.

Крупнейшим недостатком кристаллических детекторов, широко применявшихся вплоть до второй мировой войны, являлась неустойчивость их работы. Односторонней проводимостью обладает не вся поверхность кристалла, а лишь отдельные ее точки. Найти чувствительную точку было нелегко, а найдя ее, приходилось всячески оберегать детектор от толчков и сотрясений, так как малейшего сдвига острия с чувствительной точки было достаточно для того, чтобы детектор перестал работать.

Появление электронной лампы, казалось, решило проблему детектирования. Диод обладает идеальной односторонней проводимостью, т. е. является идеальным детектором. Работает диод устойчиво, не боится сотрясений.

Однако диод оказался менее чувствительным к слабым сигналам, чем кристаллический детектор. Кроме того, для питания нити накала нужно иметь батарею или другой источник. Все это привело к тому, что кристаллический детектор так и не был вытеснен диодом из радиоприемников того времени.

Переворот в технике радиоприема, вызванный появлением трехэлектродной лампы с ее огромным усилением, привел также к усовершенствованию детектора. В ламповых приемниках начали применять только ламповые триодные детекторы, полностью вытеснившие кристаллические. Наибольшее распространение получил сеточный детектор, отличающийся большой чувствительностью и обладающий способностью детектировать очень слабые

сигналы. Огромным преимуществом сеточного детектора перед кристаллическим было то, что сеточный детектор не только детектировал, но одновременно и усиливал сигналы, тогда как кристаллический детектор никакого усиления не давал. Благодаря этим своим достоинствам сеточный детектор на долгие годы занял почти монопольное положение в ламповых приемниках.

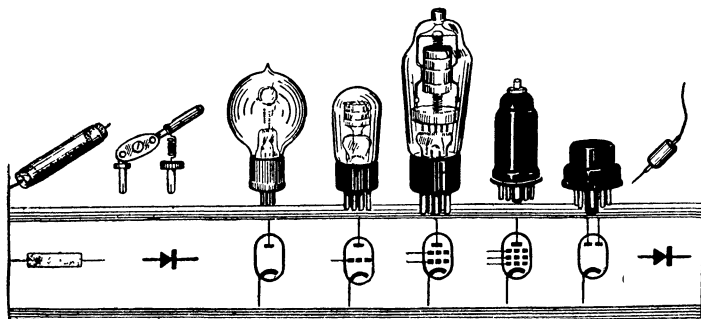
От детектора в то время требовалась главным образом высокая чувствительность.

Появление экранированных ламп не вытеснило сеточный детектор из приемников прямого усиления. Усовершенствование схемы заключалось лишь в том, что вместо триода для сеточного детектирования стал применяться тетрод.

Значительно меньшее распространение получил анодный детектор, обладавший меньшей чувствительностью, т. е. плохо детектировавший слабые сигналы.

После перехода к супергетеродинным схемам требование высокой чувствительности детектора потеряло свою остроту, так как усиление слабых высокочастотных колебаний до детектора не представляло затруднений. На первый план выдвинулось требование минимальных искажений. Как раз с этой стороны сеточный детектор оказался наименее удовлетворительным — он заметно искажал.

Несколько лучшие результаты в этом отношении давал анодный детектор, однако наименьшие искажения,



как показали исследования, обеспечивал простой диодный детектор. Этот детектор прочно вошел в практику и в течение всех последних лет являлся практически единственным типом детектора в супергетеродинных приемниках. Диодный детектор особенно хорошо детектирует

сигналы с относительно большой амплитудой и при правильно выбранных элементах схемы практически не вносит искажений.

По мере перехода к более высоким частотам элементы схемы супергетеродинного приемника изменялись, приспособляясь к новым условиям. Неизменным оставался лишь детектор — диод отлично справлялся со своими задачами. Мало того, на дециметровых волнах область применения детектора расширилась: диод заменил сложные многоэлектродные лампы; он оказался наиболее удачным смесителем в супергетеродине для дециметрового диапазона. Однако дальнейшее повышение рабочих частот серьезно поколебало безупречную до того репутацию диода: на сантиметровых волнах он уже не мог работать. Емкость между анодом и катодом, которая у обычных диодов достигает 3—4 пикофарад, оказалась для этих частот чрезмерно большой; она шунтирует диод и создает обходной путь для высокочастотных колебаний, так как ее сопротивление для них ничтожно мало. Например, для волн длиной 10 см оно составляет всего около 13 омов.

Тут пришлось опять вспомнить о кристаллическом детекторе, который после небольших конструктивных переделок оказался вполне пригодным для работы на сверхвысоких частотах. Он обладает ничтожной емкостью, так как площадь соприкосновения острия с кристаллом измеряется долями микрона.

Современные кристаллические детекторы для сверхвысоких частот свободны от основного недостатка, о котором говорилось вначале, — неустойчивости «точки», а емкость их сведена всего к 0,1—0,2 пикофарады. Их конструкция обеспечивает надежную работу. В качестве материала для кристалла используется кремний, а для острия — тонкая вольфрамовая проволочка. Еще лучшие результаты дают германиевые детекторы, получившие распространение в последние годы; у них проволоочное острие можно иногда даже приварить к поверхности кристалла.

Кристаллические детекторы находят применение в радиолокационных и телевизионных приемниках. Широко применяются они и в радиоизмерительной аппаратуре для измерений на высоких частотах.

Таким образом, за 50 с лишним лет своего существования детектор проделал интересный путь развития: кри-

сталлический детектор — диод — триод — многоэлектродная лампа — диод — кристаллический детектор. Значит ли это, что круг замкнулся и радиотехника вернулась назад? Ни в коем случае. Она не вернулась к исходной точке — старому детектору. Хотя в кристаллическом детекторе наших дней используется тот же принцип, но техническое выполнение детектора стоит на несравненно более высоком уровне. Устойчивость и надежность работы этого детектора не идут ни в какое сравнение с кристаллическим детектором первых дней радиотехники.

## **ТАЙНА** кристаллического **ДЕТЕКТОРА**

Можно ли подсчитать, сколько миллионов часов потратили радисты и радиолюбители всего мира на поиски чувствительной «точки» у кристаллического детектора!

Эти детекторы в течение почти четверти века — еще со времени А. С. Попова — состояли на вооружении у профессиональных радистов всех стран и затем перешли от них по наследству к радиолюбителям. По крайней мере десяток лет детекторный приемник был наиболее распространенным любительским радиоприемником. Им широко пользуются и в наши годы, несмотря на огромное развитие ламповой аппаратуры.

Лишь в самое последнее время радиолюбители получили детекторы с постоянной точкой, которые освободили владельцев детекторных приемников от утомительной необходимости прощупывать спиралькой кристалл в поисках неуловимой «точки».

Что же это за удивительная «точка»?

Больше 40 лет хранил кристаллический детектор тайну своей «точки». В разное время создавались различные гипотезы с целью объяснить физику работы кристаллического детектора. Была распространена, например, «дуговая» гипотеза, согласно которой работа детектора объяснялась возникновением в месте контакта острия спиральки с кристаллом микроскопических электрических дуг. Потом появилась «контактная» гипотеза, по которой од-

носторонняя проводимость детектора определялась контактной разностью потенциалов.

Однако «контактную» гипотезу постигла такая же участь, как и «дуговую». Исследования показали, что детектирующее действие кристалла нельзя объяснить контактной разностью потенциалов.

«Тайна» кристаллического детектора начала раскрываться лишь в последние предвоенные годы в результате работ ряда физиков, в частности академика А. Ф. Иоффе и профессоров Б. И. Давыдова и В. Е. Лашкарева. Детектирующее действие кристалла оказалось следствием особенностей проводимости полупроводников.

На стр. 21 уже рассказывалось о существовании у полупроводников двух видов проводимости: электронной и дырочной. Детектирующие кристаллы обладают той особенностью, что на их поверхности образуется пленка, обладающая иной проводимостью, чем сам кристалл. Если, например, кристалл обладает дырочной проводимостью, то его поверхностная пленка имеет электронную проводимость, и наоборот. Граница соприкосновения поверхностной пленки с телом кристалла образует особую зону, называемую запирающим слоем и имеющую толщину всего в десятитысячные доли миллиметра.

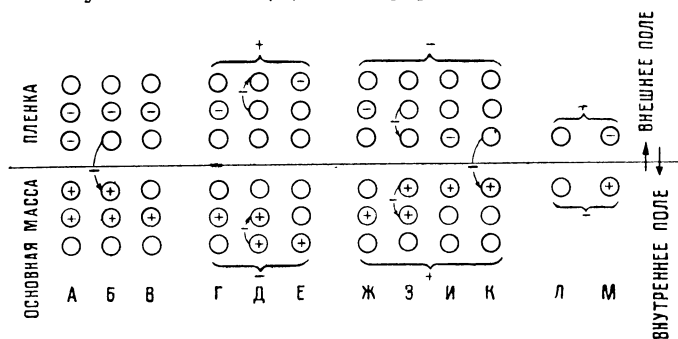
Предположим, что у нас имеется кристалл, у которого проводимость основной массы — дырочная, а поверхностной пленки — электронная, т. е. в основной массе полупроводника есть какое-то количество примесных атомов, легко расстающихся с одним из своих электронов, а в поверхностной пленке есть примесные атомы, легко захватывающие лишние элементы.

Проследим в самых общих чертах электрические процессы, которые произойдут в зоне соприкосновения поверхностной пленки с телом полупроводника. Для лучшей наглядности на рисунке показаны тонкие «столбики» атомов, расположенные в пленке и теле кристалла перпендикулярно поверхности пленки.

Столбик А характеризует начальный момент соприкосновения пленки с телом. Атом с избыточным электроном, входящий в состав пленки, оказался рядом с атомом основного тела полупроводника, лишенным электрона, т. е. оказался рядом с «дыркой». Электрическое поле, которое будет существовать между этими двумя атомами, заставит электрон перейти от отрицательного атома к

положительному (Б). В результате соприкасающиеся атомы станут нейтральными, в зоне соприкосновения зарядов не станет и образуется запирающий слой (В).

Если к кристаллу подвести напряжение плюсом к пленке и минусом к массе (Г), то внутри кристалла возникнет



электрическое поле, показанное на рисунке стрелками (Д). Это поле перемещает электроны в направлении стрелок. Под влиянием этого поля более удаленные от заповного слоя атомы пленки, имеющие избыточные электроны, передадут их еще более удаленным атомам, а примесные «дырки» в теле кристалла заполнятся электронами, отданными атомами, более удаленными от заповного слоя. В результате заповный слой станет толще (Е) и сопротивление его возрастет. При такой полярности приложенного напряжения кристалл не будет проводить тока.

При наложении напряжения обратной полярности картина изменится (Ж). Электроны начнут двигаться в обратном направлении (З, И-и К). Заповный слой станет утончаться и может совсем исчезнуть. Таким образом, кристалл будет обладать односторонней проводимостью.

При подобных рассуждениях обычно возникает сомнение: почему при условиях, показанных в столбике (Г), не происходит обмена электронами между соприкасающимися атомами пленки и тела кристалла? С нижней стороны линии раздела в этом случае находится примесный атом, который легко расстается с электроном, а с верхней стороны — примесный атом, который охотно принимает лишний электрон, что же касается до приложенного к кристаллу электрического поля, то оно способствует такому переходу электрона (Л). Однако при

таких рассуждениях не следует забывать, что если переход электрона действительно произойдет (Л и М), то между этими двумя атомами сейчас же возникнет поле, стремящееся возвратить электрон в исходное положение.

В итоге на электрон будут действовать два поля: внешнее, стремящееся удержать перешедший электрон, и «внутреннее», стремящееся вернуть электрон обратно. Обычно «внутреннее» поле бывает сильнее, потому что атомы находятся очень близко один от другого. Но может случиться, что внешнее поле «пересилит» и подобный перенос электронов действительно начнется. Это будет означать, что запорный слой «пробит» — кристалл попал под пробивное напряжение. Выпрямляющая «точка» перестанет существовать и придется искать новую.

Таким образом, сопротивление кристалла зависит от полярности приложенного к нему напряжения: в одном направлении оно больше (запирающий слой становится толще), а в другом — меньше (запирающий слой делается тоньше и даже совсем исчезает). Благодаря такой односторонней проводимости кристалл детектирует.

Поверхностная пленка на кристалле в разных местах неодинакова. Ее характер зависит от многих причин и в особенности от примесей посторонних веществ. Поэтому «точку» приходилось искать. Естественно, чем меньше площадь соприкосновения спиральки с кристаллом, тем больше шансов, что удастся нащупать поверхность с однородной пленкой. Поэтому острие спиральки надо было хорошо затачивать: площадь контакта должна быть порядка десятых долей микрона. Слишком сильный нажим острия мог повредить пленку. Поэтому контактирующую с кристаллом проволочку приходилось закручивать в спираль — она ограничивала возможность сильного нажима. Под воздействием сильных электрических импульсов, например от интенсивности атмосферных разрядов, пленка разрушалась и «точка» «сбивалась». Поэтому найденная «точка» не сохранялась надолго.

Лишь в последние годы, когда физика работы кристалла была выяснена, научились делать кристаллы с прочной однородной поверхностной пленкой и обеспечивать наилучший контакт с работающими в паре с ними проводниками.

Современные кремниевые и германиевые детекторы обладают очень большой чувствительностью и весьма посто-



янной «точкой». Кристаллические детекторы, неразрывно связанные в наших воспоминаниях с простейшим детекторным приемником, успешно работают теперь в сложнейшей радиоаппаратуре — телевизионной и радиолокационной.

## ТРИ КОНКУРЕНТА *Электронной лампы*

Электронную лампу недаром называют чудесной лампой. Она уже дала возможность человеку осуществить многое из того, о чем он на протяжении долгих тысячелетий мог лишь мечтать.

Своими успехами и победами электронная лампа обязана тому, что ее работа основана на использовании легчайших, практически невесомых электронов, с огромными скоростями несущихся в безвоздушном пространстве внутри лампы и мгновенно подчиняющихся велениям управляющих электродов.

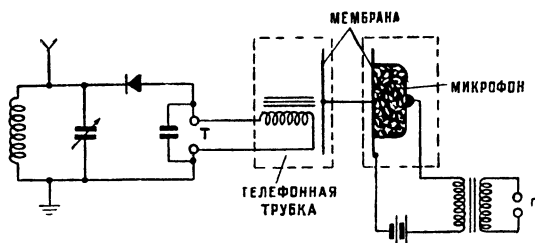
Может ли что-либо конкурировать с электронной лампой?

Оказывается, может.

Электронная лампа знала конкурентов в прошлом. У нее есть очень серьезные конкуренты и в настоящем.

Первым пытался соперничать с электронной лампой так называемый микрофонный усилитель.

Основной частью усилителя являются телефонная



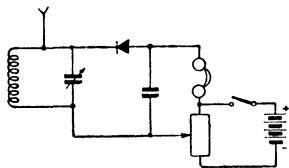
трубка и угольный микрофон, мембраны которых жестко соединены между собой. При подведении к обмотке телефона переменного напряжения в цепи микрофона за счет

энергии батарейки можно получить несколько усиленное напряжение.

Такие усилители потребляют очень большой ток — примерно четверть ампера, но основным их недостатком являются большие искажения. Ограниченное практическое применение они в прошлом нашли лишь в слуховых аппаратах, предназначенных для тугоухих. Главнейшими требованиями, предъявляемыми к слуховым аппаратам, были легкость и компактность. Искажения не играют особо большой роли — лишь бы было разборчиво.

Первоначально электронным лампам было трудно конкурировать в слуховых аппаратах с микрофонными усилителями из-за больших размеров самих ламп и их малой экономичности. Однако лампы новейших типов, в частности пальчиковые и сверхминиатюрные, дали возможность конструировать весьма компактные, легкие и экономичные слуховые аппараты, позволяющие получить большое усиление при высокой естественности воспроизведения. Поэтому в слуховых аппаратах микрофонные усилители больше не применяются. Попытки использовать их в качестве усилителей для детекторных приемников не увенчались успехом по ряду причин, из которых главнейшими являются опять-таки значительные искажения и большое потребление тока.

Вторым конкурентом электронной лампы был цинкитный кристаллический детектор, который в результате разработанной сотрудником Нижегородской радиолaborатории О. В. Лосевым специальной обработки и при найденных им условиях работы мог генерировать и давать известное усиление.



Лосевым был сконструирован приемник с таким детектором — кристадин, значительно более чувствительный, чем обычный детекторный. Кристадины получили некоторое распространение, но были вытеснены электронной лампой, работавшей гораздо более устойчиво и дававшей большее усиление.

Таким образом, в прошлом электронной лампе удалось довольно легко справиться со своими конкурентами.

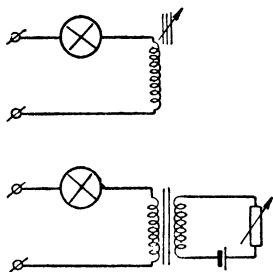
Несравненно более тяжелую борьбу приходится вести электронной лампе с конкурентами в наши дни.

В ряде областей применения с электронной лампой успешно соперничают магнитные усилители.

Принцип действия магнитных усилителей состоит в следующем. Известно, что величина сопротивления катушки переменному току зависит от ее индуктивности. У катушек с сердечником величина индуктивности зависит от магнитной проницаемости сердечника. Мы можем, например, включить осветительную лампу в сеть переменного тока через катушку. Пока у катушки не будет сердечника, лампа будет гореть ярко. Если начать вдвигать в катушку сердечник, то сопротивление катушки станет возрастать и яркость накала лампы будет уменьшаться. Чем больше вдвинут сердечник и чем выше его магнитная проницаемость, тем слабее будет накал лампы.

Величину магнитной проницаемости можно изменять подмагничиванием сердечника постоянным током. Если в нашем опыте на сердечник катушки намотать дополнительную обмотку и пропустить по ней постоянный ток, то изменением величины этого тока можно будет регулировать степень накала лампы. При отсутствии в дополнительной обмотке постоянного тока накал лампы будет наименьшим. Если величину постоянного тока довести до такой, какая соответствует насыщению сердечника, то накал лампы будет наибольшим. При промежуточных значениях величины постоянного тока можно получить любую степень яркости свечения лампы между наименьшей и наибольшей.

Таким образом, подмагничивая сердечник постоянным током, можно изменять величину переменного тока во вторичной обмотке, намотанной на этом сердечнике. При этом замечательно, что очень малые изменения подмагничивающего тока вызывают сильные изменения переменного тока во вторичной обмотке. Подобно тому как анодный ток электронной лампы чутко реагирует на изменения напряжения на сетке, так и ток во вторичной обмотке трансформатора чутко реагирует на малейшие изменения постоянного тока в подмагничивающей обмотке. Эта особенность трансформаторов позволяет использовать их для усиления, т. е. осуществить магнитные усилители.



Магнитные усилители дают возможность получать огромные усиления — в десятки и даже сотни тысяч раз; они очень компактны, не боятся толчков и тряски и обладают многими ценными достоинствами. Но у них есть и недостатки. Главнейшим из них является то, что пока они хорошо работают лишь на низких частотах — не выше низких звуковых. Однако есть основание полагать, что этот недостаток будет преодолен. Во всяком случае круг тех применений, главным образом в виде очень чувствительных реле, откуда магнитный усилитель вытесняет электронную лампу, все расширяется.

Магнитные усилители потенциально являются опасными соперниками электронных ламп, но, пожалуй, еще большая «опасность» грозит им со стороны полупроводниковых электронных приборов.

Кристин О. В. Лосева в свое время не выдержал натиска электронной лампы и сдал свои позиции более удачливому сопернику. Но он не был совершенно забыт. Много непонятного было в работе как генерирующих кристаллов Лосева, так и обыкновенных кристаллических детекторов. Пытливые исследователи — следопыты науки продолжали изучение их, оказавшееся чрезвычайно плодотворным. Зародилась и развилась новая отрасль науки — наука о полупроводниках.

Полупроводниковые приборы обладают многими ценными свойствами. Виды и области их применения непрерывно расширяются. Купроксные и селеновые выпрямители, электролитические конденсаторы, новейшие термодинамики — это все полупроводниковые устройства, прочно вошедшие в технику.

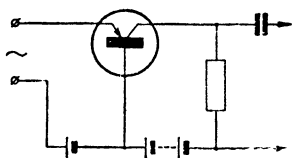
Особенно большие успехи сделали за последние годы полупроводниковые приборы, известные под названием кристаллических диодов и триодов.

Уже само это название говорит об очень многом. Кристаллические диоды и триоды, являющиеся по существу старыми кристаллическими детекторами, названы ламповыми именами — диодами и триодами. Это название не шутивное, не такое название, которое берется в кавычки. Оно действительно наилучшим образом отражает свойства детекторов новейшего типа. Эти кристаллические детекторы теперь уже не только могут в ряде применений заменить электронную лампу, но часто дают даже лучшие результаты, чем лампа.

Победное шествие «кристаллической лампы» началось после зарождения радиолокации, связанной со сверх-высокими частотами. Детектирование на этих частотах предъявляет к детектору такие требования, с которыми электронная лампа справиться не могла. Как ни малы размеры современных ламп, но все же расстояние от сетки до катода измеряется в них миллиметрами, или, в лучшем случае, их крупными долями. Время, затрачиваемое электронами на преодоление такого расстояния на сверх-высоких частотах, соизмеримо с периодами колебаний (см. стр. 231), и это делает лампу неработоспособной. Значительная входная емкость лампы, составляющая несколько пикофарад, и индуктивность выводов тоже затрудняют работу на больших частотах. Серьезным препятствием являются и собственные шумы лампы.

У кристаллических диодов все процессы происходят в слое толщиной около одной десятитысячной миллиметра. Входная емкость кристаллического диода около одной десятой пикофарады, а «шумят» кристаллические диоды тем меньше, чем выше частота. Силы вакуумного и кристаллического диодов оказались явно неравными. Кристалл взял реванш и вытеснил лампу с одной из позиций, прекрасно справившись, в частности, с обязанностями смесителя.

Но эта победа не была, выражаясь языком военных, «локальной», т. е. ограниченной одним местом, в известной степени случайной и маловажной. Было установлено, что кристаллы могут усиливать электрические колебания. Если взять хороший полупроводник, например германий, и приварить к нему не одну контактную проволочку, как в обычном детекторе, а две на расстоянии нескольких десятков микрон друг от друга, то в схеме с таким «триодом» можно получить усиление. Механизм этого усиления будет рассмотрен ниже. Кристаллические триоды чрезвычайно малы, легки, экономичны и удобны; их применение сулит много выгод. Кристаллические диоды и



триоды находятся сейчас на такой же стадии развития, на какой электронная лампа была примерно в период введения в нее первой сетки. Нет сомнения в том, что дальнейший путь их развития будет отмечен побе-

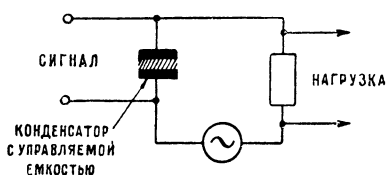
дами, не меньшими, чем те, которые одержала в свое время электронная лампа. Электронной лампе придется потесниться и в ряде применений, уступить место кристаллическим устройствам, переживающим свое второе рождение.



В последнее время у усилительной лампы появился еще один конкурент, причем на первый взгляд трудно даже представить, что он способен на это. Таким конкурентом, как ни странно, является конденсатор. Правда, это конденсатор не обычного типа, а с диэлектриком, обладающим особыми свойствами: во-первых, сверхвысокой диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  и, во-вторых, способностью изменять величину  $\epsilon$  в довольно значительных пределах под действием приложенного к конденсатору напряжения. Подобными свойствами обладают, в частности, такие диэлектрики, как титанаты бария и бариево-стронциевые титанаты.

Небольшое изменение напряжения, приложенного к конденсатору с таким диэлектриком, влечет за собой резкое изменение его емкости. Для материала, используемого в качестве диэлектрика в обычных конденсаторах, такое непостоянство  $\epsilon$  является крупным недостатком, так как неустойчивость величины емкости (зависимость ее от напряжения) не позволяет использовать такой конденсатор там, где требуется постоянная емкость. Но это же свойство натолкнуло на мысль о возможности использования конденсаторов с таким диэлектриком для создания усилителей, которые получили название диэлектрических.

Идея, лежащая в основе работы такого усилителя, сходна с принципом работы магнитного усилителя. В магнитном усилителе используется зависимость сопротивления катушки переменному току от величины ее индуктивности; но подобным же свойством обладает и конденсатор: его сопротивление переменному току зависит от



величины емкости и будет тем меньше, чем больше емкость. Следовательно, включив конденсатор в цепь с источником переменного тока, можно регулировать ве-

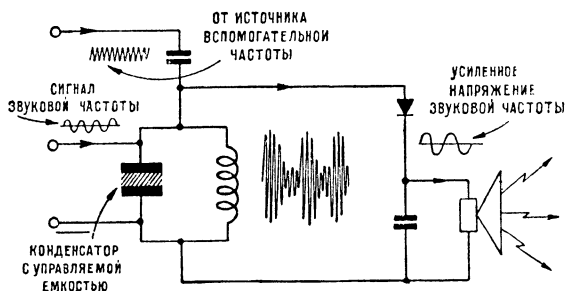
личину тока в цепи, изменяя емкость конденсатора. Последовательно с конденсатором можно включить нагрузку, например простое сопротивление. Тогда на нагрузке будет падать напряжение, пропорциональное току в цепи: если ток в цепи будет меняться, то в точном соответствии с ним будет изменяться и падение напряжения на нагрузке.

Эта зависимость и используется в диэлектрическом усилителе. Действие такого усилителя основано на том, что уже самое небольшое увеличение или уменьшение подводимого напряжения сопровождается значительными изменениями его емкости и приводит к соответственно большим изменениям величины текущего через конденсатор тока. В результате на нагрузке получается переменное напряжение, величина которого изменяется пропорционально подводимому сигналу, т. е. напряжению, приложенному к конденсатору.

Здесь много общего с магнитным усилителем, в котором используется принцип изменения тока в цепи путем изменения индуктивности под действием приходящего сигнала.

Но у диэлектрического усилителя есть существенные преимущества: область применения магнитных усилителей пока ограничивается токами самых низких частот. Диэлектрический усилитель может работать на очень высоких частотах — до нескольких мегагерц. Работа на таких частотах позволяет использовать еще более эффективный вариант схемы усилителя.

Для этого управляемый конденсатор включается в колебательный контур, который настраивается в резонанс с частотой питающего его вспомогательного источника переменного тока высокой частоты. Как известно, при резонансе сопротивление такого контура очень велико и напряжение на нем достигает максимума. При расстройке напряжение на контуре резко падает. Это свойство можно использовать, например, для получения усиления



на звуковых частотах. Для этого усиливаемое напряжение звуковой частоты подается на конденсатор. Вследствие этого емкость конденсатора будет изменяться с такой же частотой, а вместе с тем будет изменяться и высокочастотное напряжение на контуре.

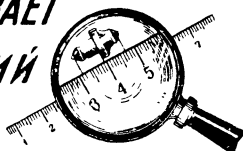
При надлежащем выборе емкости конденсатора и частоты вспомогательного источника тока можно добиться того, что высокочастотное напряжение на контуре будет изменяться на величину, во много раз превышающую напряжение входного сигнала. Диэлектрический усилитель такого рода выполняет свои функции любопытным образом: он является как бы модулятором-усилителем: высокочастотное напряжение на контуре модулируется входящим сигналом звуковой частоты. Продетектировав теперь это модулированное напряжение, мы выделим из него усиленное напряжение звуковой частоты. Имеются данные о том, что один каскад подобного диэлектрического усилителя может дать усиление колебаний звуковой частоты по мощности в несколько сот и даже тысяч раз.

Описанный вариант схемы диэлектрического усилителя является лишь одним из возможных. Преимущество подобных усилителей заключается в их малых размерах и большой прочности, а также полном отсутствии затрат энергии на накал катода, которого у диэлектрического усилителя нет вообще. Эти преимущества кажутся довольно заманчивыми для того, чтобы можно было ожидать в ближайшие годы работ по практическому применению диэлектрических усилителей.

Не исключена, разумеется, возможность выявления новых устройств, обладающих свойством усиливать. Число конкурентов электронной лампы, несомненно, будет умножаться.

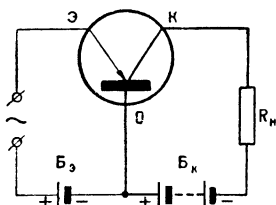


# Полупроводник УСИЛИВАЕТ КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ТРИОД



Механизм усиления кристаллических триодов примерно такой же, как у электронных ламп. Он очень сложен и не во всех подробностях окончательно выяснен. В общих чертах, не вдаваясь в детали, можно представить его себе следующим образом.

На поверхности полупроводников (см. стр. 233) образуется слой с иным родом проводимости, нежели у всего их объема. Предположим, что у полупроводника—электронная проводимость, следовательно, на его поверхности имеется слой с дырочной проводимостью. К этому полу-



проводнику приварены два проводничка Э и К и на расстоянии около 50 микрон один от другого. Между каждым из этих проводничков и основанием кристалла О приложено напряжение от батарей  $B_э$  и  $B_к$  с указанной полярностью.

На контакт Э подано положительное напряжение. Он будет притягивать к себе электроны и способствовать образованию «дырок», которые он отталкивает от себя. Второй контактный проводничок К, на который подано отрицательное напряжение, будет притягивать к себе «дырки»; он будет как бы собирать их.

Контакт Э называется эмиттером (излучателем), потому что он эмиттирует (излучает) «дырки», а контакт К — коллектором (собирателем).

Нетрудно увидеть, что величина тока, текущего в цепи коллектора, зависит от величины эмиссии «дырок» эмиттером. При отсутствии этой эмиссии тока в цепи коллектора практически не будет, поскольку приложенное к контакту К отрицательное напряжение будет способствовать образованию между поверхностным слоем и объемом кристалла запирающего слоя (см. стр. 234). Эмиттируемые эмиттером «дырки», притягивающиеся к

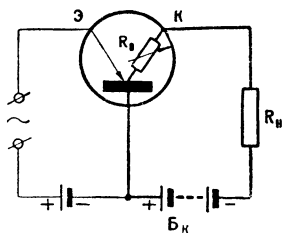
коллектору  $K$ , создадут ток в его цепи, причем этот ток будет тем больше, чем больше эмиссия.

В цепи коллектора помещено нагрузочное сопротивление  $R_n$ , на котором при прохождении в цепи коллектора тока по закону Ома будет создаваться падение напряжения. Чем сильнее ток, тем больше будет падение напряжения на  $R_n$ . Но так как ток в цепи коллектора зависит от величины эмиссии «дырок» эмиттером  $\mathcal{E}$ , можно сказать, что падение напряжения на нагрузочном сопротивлении зависит от величины эмиссии «дырок», а эта последняя в свою очередь определяется введенным в цепь эмиттера переменным напряжением.

Общий «механизм» усиления кристаллического триода можно представить себе таким же, как и у вакуумного триода или вообще вакуумных электронных ламп (см. стр. 62). Триод можно рассматривать как переменное сопротивление  $R_g$ , величина которого зависит от эмиссии эмиттера, в свою очередь зависящей от приложенного к нему напряжения. Это переменное сопротивление соединено последовательно с сопротивлением нагрузки коллектора и источником его питания. В соответствии с изменениями сопротивления триода будет происходить перераспределение напряжений между этим переменным сопротивлением и нагрузочным сопротивлением. Словом, все будет происходить так же, как и в электронных усилительных лампах.

В приведенных схемах включения триода на его «анод» подан минус. Это необязательно. Если проводимость всего объема кристалла была бы «дырочной», то на нем образовался бы поверхностный слой с электронной проводимостью и полярность  $\mathcal{E}$  и  $K$  пришлось бы поменять. Эмиттер эмиттировал бы не «дырки», а электроны, но принцип работы триода от этого не меняется.

Однако у современных полупроводниковых триодов основной объем обычно имеет электронную проводимость, поэтому такая «лампа» работает при отрицательном напряжении на «аноде».

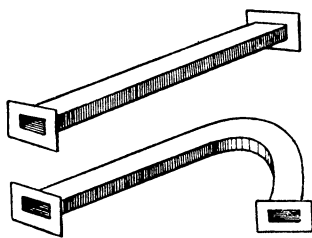


# Провод из непроводника

Современная радиотехника переходит к использованию все более высоких частот. Для телевидения используются ультравысокие частоты, соответствующие волнам длиной несколько метров, а для радиолокации и эти волны оказываются слишком длинными; для нее нужны волны длиной всего несколько сантиметров. Такие сантиметровые волны создаются колебаниями сверхвысокой частоты — в тысячи мегагерц ( $10^{12}$  герц) и обладают многими ценными свойствами, в частности позволяют получить остронаправленное действие.

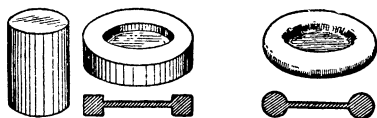
Ведутся работы с еще более короткими волнами — миллиметровыми.

Сверхвысокие частоты обладают рядом особенностей, отличающих их от более привычных для нас высоких и ультравысоких частот. Так, например, для передачи энергии сверхвысокой частоты при длине волны всего несколько сантиметров, обычные провода совершенно непригодны и даже высокочастотные кабели вносят большие потери. Энергию такой частоты передают по специальным устройствам — волноводам, которые представляют собой полые металлические (чаще всего — медные) трубы круглого или прямоугольного сечения, поперечные размеры которых близки к длине волны (но не меньше половины ее). Электромагнитные волны распространяются внутри такой трубы и, таким образом, передаются, например, от передатчика к антенне или от антенны к приемнику. При этом потери энергии в самом волноводе очень невелики.



Резонансные контуры для таких частот также имеют совершенно непривычную конструкцию. У них отсутствуют отдельные катушки и конденсаторы, так как индуктивность даже одного витка оказывается чрезмерно большой. Контур для сантиметровых волн

представляет собой как бы металлическую банку цилиндрической, прямоугольной или более сложной формы, внутри которой и происходят электромагнитные колебания. Размеры контура зависят от длины волны. Для цилиндра, например, диаметр должен быть равен примерно половине длины волны. Контур такого рода, впервые предложенные советским ученым М. С. Нейманом, отличаются чрезвычайно высокой добротностью. Они обладают всеми характерными свойствами резонансных контуров и названы объемными резонаторами, так как колебания происходят внутри их объема.



Но этим не исчерпываются особенности аппаратуры для сверхвысоких частот. Одно из их многих поразительных свойств заключается, например, в том, что энергию волн длиной несколько сантиметров можно, оказывается, передавать по линии из изоляционного материала — диэлектрика.

Это не опечатка: именно по «проводнику» из непроводника. Оказывается, если изготовить волновод в виде стержня соответствующих размеров из диэлектрика, обладающего малыми потерями и высокой диэлектрической проницаемостью, то электромагнитная энергия вдоль такого волновода будет распространяться так же, как если бы он был сделан из металлической трубы. На волнах длиной 1—3 см такие диэлектрические волноводы оказываются иногда даже более выгодными и удобными, чем металлические.

Теперь нас, пожалуй, уже не удивит и то, что для сантиметровых волн можно применить антенну не металлическую, а также из изоляционного материала. Такая антенна представляет собой небольшой стержень из диэлектрика, утолщенный с одного конца и постепенно сужающийся к другому. Электрическая мощность подводится к антенне со стороны ее толстого конца. Для излучения волн длиной, например, 10 см потребовался бы стержень из полистирола длиной 30—40 см, имеющий диаметр порядка 4,5—5 см в своей утолщенной части и порядка 3 см на тонком конце. Можно применить и другой диэлектрик с малыми потерями. Такая антенна бу-

дет обладать хорошим направленным действием в направлении от толстого конца к тонкому.

Так свойства колебаний сверхвысоких частот заставляют отказываться от многих установившихся взглядов и понятий.



Что произойдет, если два токонесущих провода замкнуть металлической перемычкой? Очевидно, получится короткое замыкание между этими проводами.

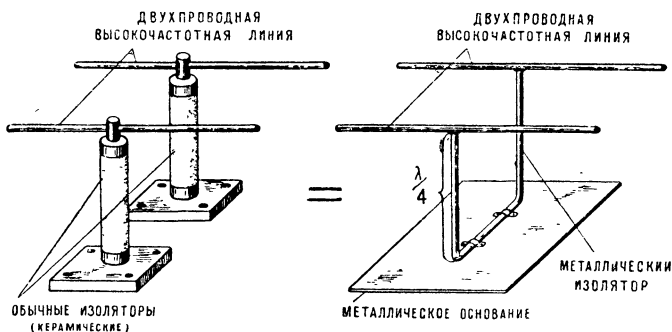
Это, конечно, верно, но не всегда. На постоянном токе и переменном токе промышленной, звуковой и даже высокой частоты металлическая перемычка будет замыкателем. Но на ультравысоких частотах металлической перемычке можно придать такую длину, что поведение проводника резко изменится: он как бы потеряет свою проводящую способность и превратится в изолятор.

Если, например, двухпроводную линию, по которой передается энергия колебаний с частотой 100 мегагерц (волна 3 м), замкнуть П-образным проводом, боковые стороны которого имеют в длину по 75 см (см. стр. 249), то такая перемычка не явится коротким замыканием: процессы в линии будут происходить так, как будто никакой перемычки нет, как будто перемычка сделана из изоляционного материала. Можно длинную двухпроводную линию укрепить на таких металлических «изоляторах», и никакой утечки энергии не произойдет.

Такое необычайное и противоречащее на первый взгляд здравому смыслу явление объясняется тем, что процессы в проводниках принимают особый характер, когда длина провода оказывается соизмеримой с длиной волны. В нашем случае длина стороны металлической стойки (75 см) равняется четверти длины волны ( $3 : 4 = 0,75$ ). Мы получаем отрезок двухпроводной линии длиной в четверть длины волны, замкнутый накоротко с одной стороны. При присоединении такого отрезка к линии, по которой передается энергия колебаний, имею-

щих ту же длину волны, в нем возбуждаются так называемые стоячие волны, особенностью которых оказывается то, что на открытом конце, т. е. в том месте, где стойка соединяется с линией, ток равен нулю.

А если ток равен нулю, то это эквивалентно случаю,



когда сопротивление равно бесконечности. Металлическая четвертьволновая стойка обладает для резонансной частоты бесконечно большим сопротивлением, т. е. является как бы изолятором.

Конечно, как только нужное соотношение нарушится и волна станет длиннее или короче резонансного значения, т. е. высота стойки не будет равна четверти длины волны, металлическая стойка потеряет свои «изоляционные» свойства и станет потреблять энергию.

Другой, закороченный конец стойки тоже обладает интересным свойством: стоячая волна располагается так, что на этом конце напряжение высокой частоты равно нулю. А это значит, что его можно укрепить на заземленной металлической поверхности, и никакой утечки тока это не вызовет.

Это замечательное свойство четвертьволновой, закороченной на одном конце линии находит широкое применение в технике метровых и сантиметровых волн. На более длинных волнах характер этого явления сохраняется, но «металлический изолятор» оказывается слишком длинным и практически неприменим. Например, на самой короткой волне средневолнового диапазона четвертьволновая линия имела бы длину 50 м. Даже на коротких волнах четверть волны составляет несколько метров.



Обязательным условием хорошей работы радиолампы является высокий вакуум. Но для того чтобы обеспечить нужную степень вакуума (см. стр. 51), недостаточно только выкачать из баллона лампы воздух. В металле, из которого сделаны электроды лампы и их держатели, содержится довольно много газов: кислорода, водорода, азота и др. Их называют окклюдированными газами.

С течением времени, в особенности в связи с неизбежным при работе лампы нагревом электродов, окклюдированные газы выделяются из металла, вакуум ухудшается, и лампа перестает работать нормально.

Составить представление о количестве содержащихся в металле газов можно по такому примеру: если из  $1 \text{ мм}^3$  никеля, часто служащего материалом для изготовления анодов ламп, удалить весь окклюдированный в нем газ, то этот газ при нормальном атмосферном давлении займет объем  $100 \text{ мм}^3$ .

Лучше всего освобождать металл от газов нагреванием, но нагрев надо производить в уже откачанном баллоне, продолжая откачку по мере выделения газа. Как же это сделать? Ведь не так-то легко нагреть металлические части, находящиеся внутри стеклянного баллона.

На вакуумных заводах нагрев электродов осуществляют очень простым и эффективным способом. На баллон лампы, находящейся на откачном станке, надвигается спираль из нескольких витков медной трубки, и все металлические части, находящиеся внутри баллона, почти моментально раскаляются докрасна. Температура их доходит до  $1000^\circ\text{C}$ . При таком сильном нагреве из металла выделяется весь газ, который сейчас же откачивается насосом. Вакуум лампы теперь обеспечен.

Но что же это за чудодейственная спираль? Попробуем осторожно прикоснуться к ней рукой. Странно, на ощупь она совсем холодная. В ее внутреннее пространство тоже можно поместить палец без всякого опасения—палец никакого тепла чувствовать не будет. Но если

у вас на палец надето кольцо, то вам этот опыт проделать нельзя: кольцо немедленно раскалится и обожжет палец.

Секрет удивительной спирали, накаливающей докрасна металлы и совершенно холодной на ощупь, прост. По спирали пропускаются токи высокой частоты. Для поля, создаваемого этой спиралью, стеклянная колба и пустота внутри нее не являются преградой. Создаваемое спиралью быстропеременное магнитное поле пересекает металлические предметы, находящиеся в зоне его действия, вследствие чего в них развиваются столь сильные вихревые токи, что металл раскаляется. Но наше тело магнитное поле не нагревает: из-за большого сопротивления в нем не могут возникнуть сколько-нибудь значительные токи, поэтому мы можем безнаказанно помещать руку внутри спирали.

Метод нагрева токами высокой частоты с его замечательными возможностями был перенесен из вакуумной промышленности в другие отрасли народного хозяйства, где он находит все более широкое применение.



Не думайте, что эта проблема, во-первых, очень проста и, во-вторых, не имеет никакого отношения к радиотехнике.

У нас есть холодная котлета. Как ее разогреть?

С технической точки зрения это делалось до сих пор очень примитивно. Котлету клали на сковородку и помещали на огонь. Огонь нагревал сковородку, сковородка нагревала прилегающий к ней поверхностный слой котлеты. От этого слоя тепло медленно — в силу малой теплопроводности материала — распространялось внутрь котлеты. Для ее прогревания, даже при условии частого переворачивания, требовалось много времени. А поверхностный слой котлеты в это время пересыхал, пережаривался, превращался почти в уголь. Вкус котлеты ухудшался.



Можно ли сделать так, чтобы котлета моментально прогревалась вся насквозь, не покрываясь коркой и не теряя вкуса?

Развитие радиотехники позволило разрешить эту кулинарную проблему. Такой удобный и хороший способ разогрева можно осуществить при помощи токов высокой частоты, причем огромная ценность высокочастотного нагрева, разумеется, определяется отнюдь не только его кулинарными применениями.

Токи высокой частоты все глубже проникают в самые различные отрасли народного хозяйства. При этом ряд своеобразных особенностей, свойственных высоким частотам, позволяет применять их для противоречивых на первый взгляд целей.

Сравним, например, такие две области использования токов высокой частоты, как закалка стальных изделий и сушка дерева.

Сущность закалки заключается, как известно, в том, чтобы резко повысить твердость и прочность изделия на поверхности, сохранив в то же время без изменения глубинные слои металла—«сердцевину» изделия, иначе металл станет хрупким. Высокочастотная закалка отлично справляется и с этой задачей, позволяя раскалить до нужной температуры только тонкий слой металла у самой поверхности, не нагревая при этом его внутренних слоев. По качеству закалки и производительности этот новый метод оставляет далеко позади старые термические методы закалки металла, применявшиеся в течение веков.

В другой области — области прогрева и сушки неметаллических материалов, например дерева (и котлеты тоже), ставится противоположная задача: прогреть материал одинаково равномерно по всей его глубине. И эта задача оказалась по плечу токам высокой частоты: высокочастотная сушка дерева как по качеству обработки, так и по сокращению количества времени, необходимого для нее, дает несравненно лучшие результаты, чем все другие тепловые способы, применяемые для этой цели.

Как же удастся заставить токи высокой частоты выполнять такие совершенно различные требования?

Дело здесь в том, что в технике высоких частот мы можем отдельно использовать магнитные и электрические

поля. В катушке колебательного контура энергия переходит в магнитное поле, а в конденсаторе — в электрическое. Когда в катушку, по которой проходит сильный ток высокой частоты, помещают предмет из стали, высокочастотное магнитное поле вызывает появление в нем вихревых токов такой же частоты. Но вследствие поверхностного эффекта эти токи распространяются только в верхнем слое металла, а в глубине они резко ослаблены или даже вообще отсутствуют. В результате из-за разогрева этими поверхностными токами у стального изделия образуется как бы раскаленная докрасна рубашка. Происходит все это очень быстро, и даже, несмотря на высокую теплопроводность металла, в глубину нагрев распространиться не успевает. После резкого охлаждения раскаленного слоя на поверхности изделия остается твердый износостойчивый покров, сердцевина же никаких структурных изменений не претерпевает, металл там сохраняет свою вязкость.

Подбирая разную частоту тока, можно прокаливать металл на разную глубину. Чем ниже частота, тем глубже закалка.

Если в ту же катушку поместить кусок дерева или какого-либо другого неметаллического материала, то с ним ничего не произойдет — магнитное поле его не нагреет.

Иная картина получится, если дерево будет помещено между обкладками конденсатора колебательного контура. Быстропеременное электрическое поле приводит к появлению в неметаллических матери-

алах диэлектрических потерь, которые вызываются, с одной стороны, токами проводимости, возникающими в таких материалах вследствие несовершенства их изоляционных свойств, а с другой стороны, — «трением» между молекулами, которые меняют свое положение внутри вещества при каждой перемене направления электрического поля. Чем выше частота тока, тем больше диэлектрические потери этих видов.

В отличие от токов высокой частоты в металлах, ко-

Глубина закаливаемого слоя (миллиметры)	Частота (килогерцы)
0,5 — 1	$5 \cdot 10^5$ — $10^6$
1 — 2	$10^5$ — $3 \cdot 10^5$
2 — 5	15
3 — 8	2
8 — 15	0,5

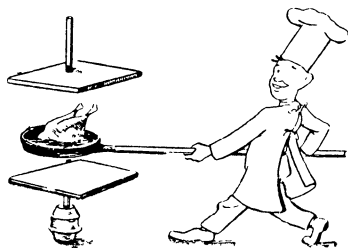
торые распространяются в основном только по поверхности, диэлектрические потери имеют место во всей толще материала, а следовательно, и прогрев его происходит равномерно по всей толщине. В этом заключается главное отличие такого способа нагрева от всех других методов, основанных на использовании внешнего тепла; там нагрев начинается снаружи и тепло лишь постепенно проникает внутрь тела. Преимущества такого «сплошного» прогрева огромны: он позволяет во много раз сократить время сушки и прогрева и почти полностью устранить брак, который был неизбежен при применении прежних методов из-за неравномерности нагревания по толщине (например, растрескивание дерева). Этот способ позволяет почти моментально разогреть и котлету, разогреть сразу по всей ее толщине.

Для сушки и прогрева неметаллических материалов — дерева, пластмасс и многих органических веществ — применяются токи значительно более высоких частот, чем для закалки, примерно от 300 килогерц до 20 мегагерц, а в отдельных случаях даже до 100 мегагерц. Выбор частоты зависит от назначения высокочастотной установки. Например, для сушки дерева хорошие результаты дают частоты 300—500 килогерц, для предварительного прогрева пластмасс перед прессованием 20—40 мегагерц, а для склеивания плоских слоистых пластмасс типа гетинакса и текстолита — еще более высокие частоты: 40—100 мегагерц.

Чем лучше изоляционные свойства прогреваемого материала, тем более высокая частота тока нужна, чтобы вызвать в материале достаточно большие диэлектрические потери.

Так, используя в отдельности магнитное и электрическое поля, создаваемые токами высокой частоты, можно получить при помощи их самые различные и — на первый взгляд — противоположные по своему характеру результаты.

Интересно, что еще лет 7—8 назад некоторые журналы в качестве юмористического примера ука-зывали на перспективу ис-



пользования токов высокой частоты для таких «нетехнических» целей, как например, кулинария. Мы воспроизводим рисунок из журнала «Радио» за 1947 г. В наши дни такое применение токов высокой частоты для таких «нетехнических» целей, как, например, кулинария, стало реальностью: мясо мгновенно прогревается по всей толщине в особых высокочастотных печах, и качество полученного продукта оказывается несравненно лучшим, чем при прожаривании на огне.



Современная измерительная техника, обогащенная радиотехнической аппаратурой и радиотехническими методами, вооружила человека необычайно точными и чувствительными приборами для исследований и измерений.

Совсем еще недавно своего рода «эталоном» весьма малого промежутка времени служило «мгновение ока». Но что такое «мгновение ока»? В пересчете на секунды оно составляет всего лишь около 0,3 секунды. Электроннолучевые приборы позволяют совершенно точно измерять промежутки времени, в миллион раз меньшие. Соотношение между столь малым отрезком времени и «мгновением ока» такое же, как между одной секундой и . . . двенадцатью сутками.

Какими масштабами пользовался человек не так давно для того, чтобы подчеркнуть крайне малые размеры чего-нибудь? Он сравнивал их с классическим «маковым зернышком» или в крайнем случае с пылинкой. Но маковое зернышко и пылинка — гиганты по сравнению с теми действительно микроскопическими образованиями, которые дает возможность разглядеть электронный микроскоп. Маковое зернышко имеет в диаметре около 0,5 мм, а размеры крупной молекулы, видимой в электронный микроскоп, составляют примерно 0,00001 мм. Такая молекула во столько же раз меньше макового зернышка, во сколько раз последнее меньше . . . двухэтажного дома.

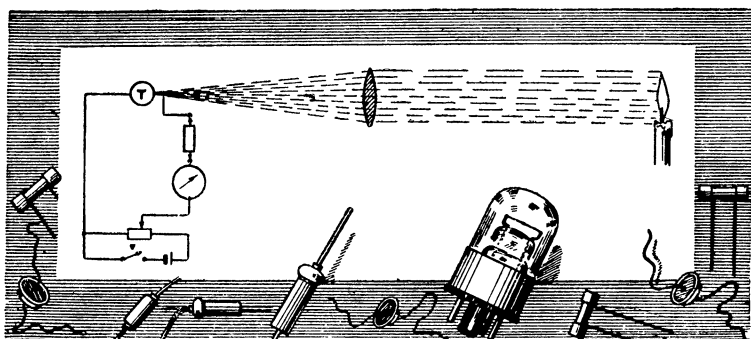
Но, пожалуй, ни одно из достижений измерительной техники не поражает так воображения, как возможности измерения тепла. Эти возможности столь изумительны, что невольно отказываешься верить им. Можно ли, например, поверить, что современная измерительная техника дает возможность уловить и измерить количество тепла, которое свеча дает на расстоянии, равном расстоянию от Москвы до . . . Ташкента. А между тем этот пример соответствует действительности. Чувствительнейший уловитель тепла, соединенный с телескопом, позволяет уловить то невообразимо малое количество тепла, которое долетает от зажженной свечи на расстояние три тысячи километров. Сам свет свечи в данном случае не играет никакой роли. Свечу можно загородить экраном, пропускающим инфракрасные лучи и не пропускающим световые.

Что же это за удивительный уловитель тепла?

Нам уже приходилось отмечать замечательные свойства полупроводников. К их числу относится и свойство полупроводников изменять величину своего электрического сопротивления прямо противоположно тому, как его изменяют проводники.

Сопротивление проводников при повышении температуры увеличивается. То, что мы называем теплом, есть движение частиц вещества, а электрический ток есть организованное движение электронов в определенную сторону. При повышении температуры колебания частиц вещества проводника убыстряются, электроны испытывают больше столкновений, им труднее передвигаться.

Сопротивление полупроводников при повышении температуры уменьшается. Полупроводники обладают либо электронной, либо «дырочной» проводимостью (см. стр. 21). При низкой температуре движение в них свободных электрических зарядов или захват атомами недостающих электронов затруднен. Поэтому проводимость весьма мала. При повышении температуры условия обмена вследствие усиления тепловой вибрации атомов облегчаются и проводимость возрастает. При очень значительном понижении температуры некоторые полупроводники совсем утрачивают проводимость и становятся изоляторами, тогда как некоторые проводники при этом совсем утрачивают сопротивление и становятся сверхпроводниками — проводниками с нулевым сопротивлением.



Однако то, что полупроводники изменяют свою проводимость при нагревании или охлаждении «не в ту сторону», в какую ее изменяют проводники, еще не может быть использовано для измерения количества тепла или температуры. Этой возможности способствует то, что при изменении температуры полупроводников на один градус их сопротивление изменяется в тысячи раз больше, чем сопротивление проводников. Полупроводники исключительно чувствительны к изменениям температуры.

Полупроводниковые термоизмерительные приборы, носящие название термисторов, являются наиболее чувствительными современными термометрами. Термистор представляет собой кусочек специально обработанного полупроводника, соединенного с прибором для точнейшего измерения сопротивления. Если поместить термистор в фокус большого телескопа, то таким прибором становится возможным измерять тепло, доходящее до нас от звезд. О почти фантастической чувствительности такого прибора мы уже говорили.

Термисторы находят много применений, в том числе и в радиоустановках. Их, например, применяют в качестве ограничителей амплитуды колебаний в генераторах, включая параллельно контуру. При чрезмерном нарастании колебаний в контуре ток, текущий через термистор, возрастает и нагревает его, отчего сопротивление термистора падает и он, потребляя от контура все больший ток, вносит в контур такое затухание, при котором колебания нарастать не могут.



# *Застывшие* Заряды

Электрический заряд создает в окружающем пространстве электрическое поле. При движении электрического заряда в окружающем пространстве возникает магнитное поле. Электрические и магнитные поля широко используются современной техникой.

Однако возможности получения электрических и магнитных полей неодинаковы.

Для получения магнитного поля мы можем воспользоваться электрическим током или постоянным магнитом. В первом случае мы получаем своего рода временное магнитное поле, существующее лишь до тех пор, пока в цепи поддерживается электрический ток. Во втором случае мы располагаем постоянным неизменным магнитным полем.

Наличие двух способов получения магнитного поля открывает широкие возможности. Мы не могли бы осуществить множества приборов и механизмов, начиная от простого электрического звонка и кончая магнитным подъемным краном, если бы располагали только постоянными магнитами. С другой стороны, нам пришлось бы чрезвычайно усложнить компас, электроизмерительные приборы и массу других устройств и механизмов, если бы мы могли вызвать появление магнитного поля только при помощи электрического тока.

Иначе обстоит дело с электрическим полем. Мы знаем только один способ создания постоянного электрического поля между какими-либо точками — для этого надо сосредоточить в одном месте больше электрических зарядов, чем в другом. Но электрические заряды отличаются чрезвычайной подвижностью. Они в противовес нашему желанию всячески стремятся распределиться в цепи равномерно. Для поддержания поля приходится непрерывно затрачивать энергию: механическую — в генераторах тока, химическую — в гальванических элементах и аккумуляторах и т. д.

Правда, при этом становится возможным не только

создать электрическое поле, но и получить электрический ток, выполняющий ту или иную работу. Однако ток не всегда бывает нужен. Например, для подачи на сетки электронных ламп отрицательного «смещения» нужно только электрическое поле.

Для подобных случаев нам было бы совершенно достаточно приспособления, позволяющего удержать созданное в какой-либо цепи неравномерное распределение зарядов.

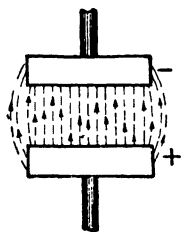
Можно ли представить себе такое приспособление?

Естественно напрашивается такой способ: каким-нибудь образом добиться неравномерного распределения зарядов в цепи, а затем разделить их изолятором, чтобы они не имели возможности перераспределиться.

Подобным устройством по своей идее является конденсатор. При заряде конденсатора на одной из обкладок сосредотачивается больше электрических зарядов, чем на другой. Разделяющий обкладки изолятор не допускает выравнивания зарядов.

Но удержать заряд на обкладках конденсатора очень трудно. Во-первых, электрические заряды стремятся «просочиться» сквозь изолятор-диэлектрик. Во-вторых, они пользуются всяким удобным случаем перераспределиться через окружающий воздух. Присутствие в воздухе влаги ухудшает его изоляционные свойства. Многие причины приводят к ионизации воздуха, т. е. делают его проводником. В результате даже лучшие конденсаторы не удерживают заряда дольше нескольких суток, причем разность потенциалов обкладок непрерывно изменяется, снижаясь постепенно до нуля.

Уже одно это обстоятельство делает невозможным использование конденсаторов в качестве источников постоянного электрического поля. К этому присоединяется такая серьезная причина, как стремление конденсатора разрядиться. Этот разряд произойдет при первом же случайном касании обкладок конденсатора каким-либо проводником, например рукой. Нельзя пользоваться деталью, даже легкое прикосновение к которой приводит ее в негодность. Для того чтобы какое-нибудь электрическое устройство могло быть использовано в качестве





возбудителя постоянного электрического поля, надо, чтобы оно не требовало расходования энергии на поддержание разности потенциалов на его выводах и сохраняло эту разность потенциалов даже в случае короткого замыкания.

Не бессмысленно ли это требование? Возможно ли создание подобных «неразряжающихся конденсаторов».

Современная техника дает на этот вопрос положительный ответ. Такие устройства уже созданы. Они получили название электретов.

Давно известно, что электропроводность материалов зависит от температуры. Например, охлаждение сопровождается уменьшением сопротивления проводников и увеличением сопротивления полупроводников (см. стр. 256). Величина проводимости и ее характер меняются при переходе из жидкого состояния в твердое, и наоборот. Еще 200 лет назад (в 1756 г.) Эпинус при исследовании пироэлектрических явлений обнаружил, что кристаллы турмалина при охлаждении обладают способностью «задерживать» электрические заряды. Длительное изучение подобных явлений многими учеными, в том числе Фарадеем, позволило установить, что «задерживание» зарядов происходит лучше всего, если напряжение подводится к двум обкладкам, разделенным расплавленными воско- и смолообразными веществами, и поддерживается неизменным во время их затвердевания. Если после этого отсоединить источник напряжения и отнять обкладки, то оказывается, что заряд на поверхности вещества не исчезает даже в случае короткого замыкания.

Физическая сторона этого явления пока еще не ясна. Внешне оно выглядит так, как будто электрические заряды, переместившиеся в расплавленном воскообразном материале под влиянием приложенного потенциала, в результате затвердевания этого материала утратили подвижность и «застыли».

Можно представить себе, что на одном конце такого электрета больше электронов, чем на другом. Электроны перераспределились под воздействием приложенного поля и «застыли». Вследствие этого между концами электрета существует разность электрических потенциалов и имеется электрическое поле. Эта разность потенциалов постоянна, поскольку создающие ее электроны лишены возможности двигаться,

С неменьшим основанием можно предположить, что электризация электрета происходит не в результате перемещения электронов, а в результате такого же смещения зарядов в атомах и молекулах и упорядоченной ориентации получившихся диполей, какая имеет место в диэлектрике конденсаторов. По остывании электрета эта ориентация удерживается.

Естественно, что образовавшаяся в итоге того или иного процесса разность потенциалов на концах электрета не исчезает и при коротком замыкании. Если электрет замкнуть проводником, то ток по нему не пойдет. Больше того, как магниты для лучшей сохранности замыкают накоротко железным ярмом (см. стр. 219), так и электреты следует сохранять, замкнув их проводником. Вероятно, физика этого явления у электретов такая же, как и у постоянных магнитов: замыкание способствует уничтожению внутри электрета поля обратного направления.

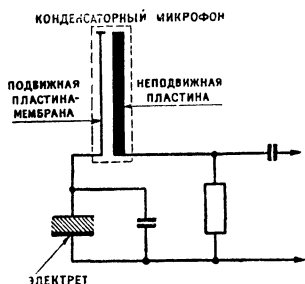
Электреты подобны магнитам и в отношении возможности деления их на части. Как каждый кусок разломанного магнита тоже является магнитом, так и куски разломленного электрета имеют электрическую полярность и создают электрическое поле.

То обстоятельство, что электрет не может создать электрического тока, ограничивает число способов обнаружения разности потенциалов на его концах. Обычные вольтметры, даже самые лучшие — высокоомные, непригодны для этого, так как их действие основано на потреблении тока от измеряемого источника напряжения. Обнаружить разность потенциалов у электрета можно при помощи лампового вольтметра, электростатического вольтметра и других приборов, не потребляющих тока.

В настоящее время электреты еще изучаются и совершенствуются. Для формования электретов часто используются электродами чашеобразной формы или имеющими вид двух концентрических трубок. Electrodes рекомендуется полировать. Пространство между электродами заполняется расплавленным диэлектриком. Один из известных видов материала для электрета представляет собой смесь карнаубского воска (растительный воск, покрывающий листья одного вида бразильской пальмы), смолы и небольшой прибавки пчелиного воска. Другой материал

для электретов составляется из 45% карнаубского воска, 45% гидрированной канифоли и 10% этилцеллюлозы.

К формовочным обкладкам электрета по заполнении форм расплавленным материалом подводится напряжение в несколько тысяч вольт (до 10 000). После полного затвердевания напряжение снимается. Различные электреты ведут себя при этом неодинаково. Некоторые сохраняют сообщенную им полярность, лишь снижая по-



тенциал в несколько десятков раз. Электреты других типов постепенно снижают потенциал до нуля, изменяют его полярность на обратную, после чего потенциал возрастает и, наконец, стабилизируется на некотором уровне.

Ведутся опыты по изготовлению электретов не из воскообразных веществ, а из разного рода пластмасс и керамики.

Электреты не могут служить источником тока — от них нельзя получить мощность. Их можно применять лишь в тех случаях, когда надо создать постоянное электрическое поле, когда требуется только электрический потенциал. Подобных случаев может быть очень много. Например, электреты, как уже упоминалось, являются идеальными источниками для подачи отрицательного напряжения на управляющие сетки ламп. Электреты могут быть использованы для подачи постоянного напряжения на конденсаторные микрофоны (фактически такое использование было первым практическим применением электретов). При помощи электретов можно осуществить постоянно действующие, всегда готовые к работе электростатические линзы в электронно-лучевых трубках и различных приборах, использующих электронную оптику. Во всех этих и многих других случаях электреты могут быть вмонтированы в аппаратуру как постоянные источники электрического поля.

Надо полагать, что недалеко то время, когда в радиоаппаратуре, наряду с такими новинками, как магнитная антенна и кристаллический триод, появится и электрет.

## СОДЕРЖАНИЕ

От авторов . . . . .	3	Что дает чернение анодов . . .	78
Как велик электрон . . . . .	5	Электронная лампа и термос . .	79
Из чего состоят все тела . . .	8	Голубое свечение электродов . .	80
Один грамм электронов . . .	12	Куда деваются электроны . . .	82
Скорость движения электронов . . . . .	14	Сколько названий было у электронной лампы . . . . .	86
Четыре вида электрического тока . . . . .	18	Загадочная лампа . . . . .	87
В какую сторону течет электрический ток . . . . .	23	Почему физкультурники шли не в ногу . . . . .	90
Проходит ли ток через конденсатор . . . . .	24	Длина звуковых волн . . . . .	92
Контурная катушка из стеклянного провода . . . . .	28	Длина волны или частота . . .	94
Когда 1 не равна 10·0,1 . . .	32	Цифры комариного писка . . .	97
Тридцать три сопротивления . .	33	Локационные данные летучей мыши . . . . .	98
Существует ли отрицательное сопротивление . . . . .	36	Почему мы понимаем друг друга . . . . .	100
Десять видов преобразования . .	41	Здрафтуйте, Седор Феменович . . . . .	102
Механические, электрические и электромагнитные колебания . . . . .	44	1/16 секунды . . . . .	104
Что такое вакуум . . . . .	49	Минимальная продолжительность тона . . . . .	105
Сколько же молекул воздуха остается в лампе . . . . .	51	Границы полосы пропускания . .	106
Почему перегорает нить накала . . . . .	53	Динамический диапазон . . .	108
Перегрев из-за недокала . . .	55	Сила звука в единицах атмосферного давления . . . . .	110
Предохранители перегорают при включении . . . . .	56	Смещение частиц воздуха в звуковой волне . . . . .	112
Где скрыто сопротивление электронной лампы . . . . .	59	Почему работает динамик . . .	113
Почему лампа усиливает . . . .	62	От чего зависит мощность динамика . . . . .	115
Что такое Ri . . . . .	65	Два громкоговорителя . . . . .	117
Размеры электронных ламп и их параметры . . . . .	67	Почему в комнате слышно громче, чем на открытом воздухе . . . . .	119
Суперный шум и мурашки . . .	69	Разговор у самолета . . . . .	122
Что труднее — отдых или работа . . . . .	72	Беззвучный громкоговоритель .	125
Почему греются аноды . . . . .	75	Можно ли слышать зубами . . .	126
		Топот мухи . . . . .	128
		Напряжение на обкладках пьезоэлемента . . . . .	129

Это не мой голос . . . . .	131	1 000 вольт в антенне . . . . .	187
Что движется быстрее—звуко- сниматель или игла . . . . .	132	Лампочка в антенне . . . . .	190
Радиоприемник и глаз . . . . .	134	Осуществленный анекдот . . . . .	191
Во сколько раз усиливает приемник . . . . .	136	Рабочий день импульсного пе- редатчика . . . . .	194
Предел чувствительности при- емника . . . . .	138	Возможно ли телевидение без радио . . . . .	195
Что выгоднее — хороший или плохой контур . . . . .	140	Фотоснимок с экрана телеви- зора . . . . .	197
Усиление в 15 миллиардов раз	142	Тысячи километров по экрану телевизора . . . . .	199
Коэффициент использования энергии . . . . .	143	Телевизор как радиолокатор . . . . .	202
Хватит ли у человека силы питать радиоприемник . . . . .	146	Как надо понимать синхрон- ность . . . . .	205
К. П. Д. радиоприемника . . . . .	148	Число строк и полоса частот . . . . .	207
На что расходуется потреб- ляемая приемником мощ- ность . . . . .	152	Наибольшее число строк . . . . .	211
Мощность приемника и пло- щадь комнаты . . . . .	154	Телевизионные параметры . . . . .	212
Почему прикосновение к сетке вызывает гудение . . . . .	156	Ладонь на расстоянии вытяну- той руки . . . . .	213
Громкоговорящий прием от де- текторного приемника . . . . .	158	Когда короткое замыкание по- лезно . . . . .	216
Двухтактное детектирование . . . . .	161	Еще одно короткое замыкание . . . . .	219
Анодное напряжение и напря- жение на аноде . . . . .	163	В 25 раз тоньше волоса . . . . .	221
Трансформатор вместо лампы	166	Еще в четыре раза тоньше . . . . .	222
На каких волнах усиление больше? . . . . .	168	Полоса частот . . . . .	222
Почему АРУ не искажает . . . . .	170	Полоса частот и частота пе- редачи . . . . .	227
Растянутые или сжатые диа- пазоны . . . . .	172	Эволюция детектора . . . . .	228
Бриллиантовая шкала . . . . .	173	Тайна кристаллического детек- тора . . . . .	232
Горизонтальное и вертикаль- ное оформление . . . . .	176	Три конкурента электронной лампы . . . . .	236
Волшебная палочка . . . . .	178	Еще один конкурент . . . . .	241
Экранированная антенна . . . . .	181	Почему усиливает кристалли- ческий триод . . . . .	244
Антенна с сердечником . . . . .	183	Провод из непроводника . . . . .	246
Нужно ли заземлять заземле- ние . . . . .	185	Металлический изолятор . . . . .	248
		Нагрев в холодной спирали . . . . .	250
		Как разогреть котлету . . . . .	251
		Термомикроскоп . . . . .	255
		Застывшие заряды . . . . .	258

Цена 6 р. 80 к.